

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Журнал заснований у 1918 році

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 31 (70) № 6 2020

Частина 1



Видавничий дім
«Гельветика»
2020

Головний редактор:

Кисельов Володимир Борисович – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського.

Члени редакційної колегії:

Медведєв Микола Георгійович (відповідальний секретар) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Бронін Сергій Вадимович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем та технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Домніч Володимир Іванович – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Дехтяр Анатолій Соломонович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри архітектурних конструкцій Національної академії образотворчого мистецтва і архітектури;

Дичко Аліна Олегівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерної екології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Дубко Валерій Олексійович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри вищої математики Київського національного університету технологій та дизайну;

Єремєєв Ігор Семенович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Лисенко Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри телекомунікацій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Огородник Станіслав Станіславович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Сегай Олександр Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Чумаченко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій;

Цомко Олена – доктор філософії по спеціальності «Безпека і управління інформацією», відділення комп'ютерної інженерії, Інститут Міжнародної освіти, Університет Донгсо, Республіка Корея.

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 4 від 26.11.2020 року)**

Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» зареєстровано Міністерством юстиції України (Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ серія КВ № 22895-12795Р від 11.08.2017 року)

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») з технічних наук (спеціальності: 144. Теплоенергетика, 161. Хімічні технології та інженерія, 172. Телекомунікації та радіотехніка) відповідно до Наказу МОН України від 17.03.2020 № 409 (додаток 1), 121. Інженерія програмного забезпечення, 123. Комп'ютерна інженерія, 126. Інформаційні системи та технології, 151. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 275. Транспортні технології (за видами) відповідно до Наказу МОН України від 02.07.2020 № 886 (додаток 4)

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International (Республіка Польща)

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

ISSN 2663-5941 (Print)

ISSN 2663-595X (Online)

© Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, 2020

ЗМІСТ

ПРИЛАДИ

Топчій Н.В.

АНАЛІЗ РИЗИКІВ У ВИПРОБУВАЛЬНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ
ОРГАНУ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ.....1

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Клименко К.О., Костенко О.В., Ільченко О.М.

ЗАГАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАСОБІВ НЕГЛАСНОГО ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ
ТА МЕТОДИК ЇХ ВИЯВЛЕННЯ.....6

Михалевський Д.В.

ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛЕЙ РЕГРЕСІЇ В ОЦІНЮВАННІ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ
БЕЗПРОВІДНИХ КАНАЛІВ СТАНДАРТУ 802.11.....16

Пономаренко С.О., Тачиніна О.М., Лисенко О.І., Кисельов В.Б., Гуйда О.Г.

МОДЕЛЬ НАЦІОНАЛЬНОЇ АЕРОКОСМІЧНОЇ СИСТЕМИ РОЗГОРТАННЯ
ГЛОБАЛЬНОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ.....21

Топал О.І., Любарець М.І., Прищепов Є.О.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ОБЛІКУ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ:
СКЛАДНИКИ, ТЕХНОЛОГІЇ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ.....27

Шарапова О.В., Костень Т.Б.

ПІДСИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ АДРЕСНО-АНАЛОГОВОЮ СИГНАЛІЗАЦІЄЮ
ДЛЯ ЗАХИСТУ ПІДПРИЄМСТВ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ З БАГАТЬМА ВХОДАМИ
І БАГАТЬМА ВИХОДАМИ..... 35

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

Бережна О.Б.

АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС...39

Бунке О.С.

ЕФЕКТИВНІ СЦЕНАРІЇ ВИКОРИСТАННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ПІДПРИЄМСТВІ.....44

Гайдай А.Ю., Грешнов А.Ю.

СПЕЦІАЛІЗОВАНА КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА
ДИСТАНЦІОННОГО ОБУЧЕННЯ СТУДЕНТОВ..... 50

Гайдукевич С.В., Семенова Н.П., Леськів Я.А.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТИЧНИМИ
ПАРАМЕТРАМИ ПРИМІЩЕНЬ ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ.....58

Довжик Д.В., Потапова К.Р.

ВИКОРИСТАННЯ НАЦІОНАЛЬНИХ ЗАСОБІВ КРИПТОГРАФІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ
ДЛЯ ШИФРУВАННЯ БЛОКІВ БЛОКЧЕЙНУ..... 65

Захарченко А.С., Степанець О.В.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЬНО-ПРОГНОЗУЮЧОГО КЕРУВАННЯ
В АВТОМАТИЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬ.....70

Киричек Г.Г., Чубіч А.І.

ВИКОРИСТАННЯ КАНВАН-МЕТОДУ В ОРГАНІЗАЦІЇ
РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....78

Кисіль Т.М.

РОЗПІЗНАВАННЯ КІНЦЕВИХ ПРИСТРОЇВ КОРПОРАТИВНОЇ МЕРЕЖІ
ЗА ПРИНЦИПОМ СВІЙ / ЧУЖИЙ.....83

Красовський М.В., Горошко А.В., Медзатий Д.М., Стецюк В.М. КОНЦЕПЦІЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КООПЕРАТИВНОЇ РОБОТОТЕХНІКИ.....	90
Кузьма К.Т. ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ РІВНЯ ПОДІБНОСТІ РЯДКІВ НА ОСНОВІ МЕТОДУ N-ГРАМ.....	96
Лавданська О.В. АНАЛІЗ РИЗИКІВ ПРОСУВАННЯ ОНЛАЙН-КУРСІВ.....	100
Левківський В.Л. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ПАЦІЄНТІВ.....	105
Маринич І.А., Рубан С.А., Сердюк О.Ю. СИНТЕЗ СИСТЕМИ УЗГОДЖЕНОГО КЕРУВАННЯ ДОЗУВАННЯ ВСІХ КОМПОНЕНТІВ ШИХТИ З ПАРАЛЕЛЬНИМ З'ЄДНАННЯМ ДОЗАТОРІВ.....	113
Медведєв М.Г., Юсипів Т.В. ВИКОРИСТАННЯ ФУНКЦІЇ ЛОГНОРМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ СМЕРТНОСТІ ВІД COVID-19.....	119
Пількевич Ю.Г., Розорінов Г.М. АВТОМАТИЗАЦІЯ МОНІТОРИНГУ ЕКОСИСТЕМИ ПРІСНОЇ ВОДОЙМИ.....	123
Прокопенко Т.О., Березюк І.А., Зубенко В.О. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВОЛОГІСНИМ РЕЖИМОМ ТЕПЛИЦІ НА ОСНОВІ АПАРАТУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ	129
Радченко К.О. КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА ВЕБСЕРВЕР.....	135
Самойленко М.Ю. ПРИНЦИПИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ У СУЧАСНОМУ СВІТІ ТЕХНІКИ.....	142
Федь Т.І., Батюк С.Г. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК ПРОМИСЛОВОЇ ЛОГІСТИКИ НА ОСНОВІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ SIMIO.....	149
Чумаченко С.М., Яковлев Є.О., Морщ Є.В., Паргалаян А.С., Гуйда О.Г. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕКОНОМІЧНОЇ ШКОДИ ВІД НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І МЕТОДУ СИСТЕМНОЇ ДИНАМІКИ.....	156
Шевченко С.С. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	165
Шкарупило В.В., Чемерис О.А., Душеба В.В., Кудерметов Р.К. ДОСЛІДЖЕННЯ МУЛЬТИПОТОЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ ПЕРЕВІРКИ НА МОДЕЛІ ДЛЯ ТЕМПОРАЛЬНОЇ ЛОГІКИ ДІЙ.....	173
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	178

CONTENTS

EQUIPMENT

Topchii N.V.

RISK ANALYSIS IN THE TEST LABORATORY OF THE ASSESSING AUTHORITY.....5

RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS

Klymenko K.O., Kostenko O.V., Ilchenko O.M.

GENERAL CLASSIFICATION OF MEANS OF COVERT OBTAINING OF INFORMATION
AND METHODS OF THEIR DETECTION15

Mykhalevskiy D.V.

ASSESSMENT OF ADEQUACY OF REGRESSION MODELS
IN EVALUATION OF MAIN PARAMETERS OF WIRELESS CHANNELS OF STANDARD 802.1120

Ponomarenko S.O., Tachynina O.M., Lysenko O.I., Kyselov V.B., Huida O.H.

MODEL OF THE NATIONAL AEROSPACE SYSTEM OF DEVELOPMENT
OF THE GLOBAL SENSOR NETWORK26

Topal O.I., Liubarets M.I., Pryshchepov Ye.O.

SMART METERING TO CONTROL ENERGY RESOURCES CONSUMPTION: KEY COMPONENTS,
RADIOTECHNOLOGIES, AND PROSPECTS TO IMPLEMENT IN UKRAINE33

Sharapova O.V., Kosten T.B.

SUBSYSTEMS OF AUTOMATIC CONTROL OF ADDRESS-ANALOG SIGNALING
FOR PROTECTION OF ENTERPRISES BASED ON MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT.....38

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

Berezhna O.B.

ASPECTS OF IMPLEMENTING AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY
IN THE EDUCATIONAL PROCESS43

Bunke O.S.

EFFECTIVE SCENARIOS OF USING CLOUD TECHNOLOGIES AT THE ENTERPRISE.....49

Haidai H.Yu., Hrieshnov A.Yu.

STUDENTS DISTANCE LEARNING
SPECIALIZED COMPUTER SYSTEM.....56

Haidukevych S.V., Semenova N.P., Leskiv Ya.A.

INCREASE OF EFFICIENCY IN CONTROL SYSTEMS BY PARAMETERS OF MICROCLIMATE
OF APARTMENTS OF THE CLOSED SOIL64

Dovzhyk D.V., Potapova K.R.

USE OF NATIONAL FACILITIES OF CRYPTOGRAPHIC PROTECTION OF INFORMATION
FOR ENCRYPTION OF BLOCKCHAIN BLOCKS.....69

Zakharchenko A.S., Stepanets O.V.

FEATURES OF THE USE OF MODEL-PREDICTIVE CONTROL IN BUILDING AUTOMATION.....76

Kyrychek H.H., Chubich A.I.

KANBAN-METHOD USE FOR SOFTWARE DEVELOPMENT ORGANIZATION82

Kysil T.M.

RECOGNITION OF END DEVICES OF CORPORATE NETWORK
ON THE PRINCIPLE OF SELF / NONSELF89

Krasovskyi M.V., Horoshko A.V., Medzaty D.M., Stetsiuk V.M.

THE CONCEPT OF THE MULTIFUNCTIONAL SYSTEM OF COOPERATIVE ROBOTICS94

Kuzma K.T. INFORMATION TECHNOLOGY FOR ASSESSING THE LEVEL OF STRING MATCHING BASED ON THE N-GRAM METHOD	99
Lavdanska O.V. RISKS ANALYSIS OF PROMOTING ONLINE COURSES	104
Levkivskyi V.L. CONCEPTUAL PRINCIPLES AND BUILDING TECHNOLOGIES OF THE INFORMATION SYSTEM FOR THE REMOTE DIAGNOSING OF PATIENTS' STATE	111
Marynich I.A., Ruban S.A., Serdiuk O.Yu. SYNTHESIS OF COORDINATED CONTROL SYSTEM FOR DOSING OF ALL CHARGE COMPONENTS WITH PARALLEL CONNECTION OF DOSING DEVICES	118
Medvedev M.H., Yusyypiv T.V. APPROXIMATION OF THE MORTALITY CURVE FROM COVID-19 USING THE "LOGNORMAL MODEL"	122
Pilkevych Yu.H., Rozorinov H.M. AUTOMATION OF MONITORING OF FRESH RESERVOIR ECOSYSTEM.....	128
Prokopenko T.O., Bereziuk I.A., Zubenko V.O. AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF TEMPERATURE-HUMIDITY REGIME OF THE GREENHOUSE ON THE BASIS OF THE FUZZY LOGIC APPARATUS	133
Radchenko K.O. CONCEPTUAL MODEL FOR ENSURING EFFICIENCY OF WEB SERVER LOAD FORECASTING.....	141
Samoilenko M.Yu. PRINCIPLES OF APPLICATION OF THE INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY IN THE MODERN WORLD OF TECHICAL DEVICES	147
Fed T.I., Batiuk S.H. THE SIMULATOR OF THE AUTOMATED TECHNOLOGICAL COMPLEX OF INDUSTRIAL LOGISTICS	154
Chumachenko S.M., Yakovliev Ye.O., Morshch Ye.V., Partalian A.S., Huida O.H. SPECIFICS DEVELOPMENT AND REALIZATION OF COMPUTER MODELS FOR ASSESSMENT OF ECONOMIC DAMAGE FROM THE EMERGENCY SITUATIONS OF TECHNOGENIC ORIGIN WITH THE USE OF GIS TECHNOLOGY AND METHODS OF SYSTEM DYNAMICS	164
Shevchenko S.S. DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF SEALING SYSTEMS.....	172
Shkarupylo V.V., Chemerys O.A., Dusheba V.V., Kudermetov R.K. RESEARCH ON MULTITHREADED IMPLEMENTATION OF MODEL CHECKING METHOD FOR TEMPORAL LOGIC OF ACTIONS.....	177
INFORMATION ABOUT AUTHORS.....	178

ПРИЛАДИ

УДК 620.171
DOI

Топчій Н.В.

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України

АНАЛІЗ РИЗИКІВ У ВИПРОБУВАЛЬНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ ОРГАНУ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ

Розгляд та аналіз ризиків і можливостей у випробувальній лабораторії органу оцінки відповідності – далеко не нове питання. Усі випробувальні лабораторії стурбовані питанням розроблення та впровадження у практику своєї роботи ризик-орієнтованого підходу. Якщо випробувальна лабораторія органу оцінки відповідності знає свої ризики, то вона має можливість оцінити або визначити їх пріоритетність, а також усвідомлює їх наслідки. Буде легше планувати, як поводитися з ризиками та їх наслідками.

Помилки та/або невідповідності, виявлені на ранніх стадіях, дозволяють випробувальній лабораторії органу оцінки відповідності раніше на них відреагувати. Можуть бути попереджені фінансові штрафи або інші великі збитки. Основна мета полягає не в мінімізації ризиків, а у фактичній оптимізації профілів ризику та можливостей, визначених у стратегії випробувальної лабораторії.

Головна мета оцінки ризику – подання на основі об'єктивних свідчень достовірної інформації, яка буде необхідна для прийняття обґрунтованого рішення щодо способів оброблення ризиків. Оброблення ризиків може включати в себе або можливість уникнення ризику за допомогою прийняття рішення не починати, або не продовжувати діяльність випробувальної лабораторії органу оцінки відповідності, яка зумовлює:

1) виникнення ризику та прийняття або підвищення ризику з метою досягнення сприятливих можливостей;

2) фактичне усунення джерела ризику;

3) зміну ймовірності виникнення ризиків,

4) зміну наслідків;

5) розподіл можливих ризиків іншою стороною або сторонами;

6) збереження ризиків на підставі обґрунтованого рішення.

Після проведення планування та аналізу ризиків можливо ефективно оцінювати діяльність випробувальної лабораторії органу оцінки відповідності у будь-який спосіб. У подальшому отриманий показник результативності можна використовувати при аналізі з боку керуючої ланки.

Ключові слова: *ризик, процес керування ризиком, політика у сфері керування ризиком, ідентифікація ризику, подія, наслідок, опис ризику.*

Постановка проблеми. Формування системи ризик-менеджменту на підприємстві починається із визначення цілей управління ризиками на підприємстві та ідентифікації ризиків, які мають підпорядковуватися зазначеним вище цілям. Оцінка та управління ризиками в лабораторії дозволить підвищити ефективність діяльності лабораторії, побачити і реалізувати нові можливості, а також завчасно визначити правильні заходи реагування, щоб знизити негативні наслідки.

Важливим аспектом при виборі методу оцінки ризиків є можливість давати послідовні і прогнозовані результати, які досягаються більш ефективно і результативно за умови, якщо діяльність

усвідомлюється і управляється як взаємопов'язані процеси, які функціонують як узгоджена система.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідженням проблемних питань аналізу ризиків займалися вітчизняні науковці І. Федулова, В. Мохор, О. Богданов, О. Крук та інші. Серед закордонних досліджень заслуговують на увагу праці І. Болдирева, Т. Селіванової, В. Шевелевої. Незважаючи на значну кількість наукових публікацій, присвячених проблемам аналізу ризиків, стрімке оволодіння випробувальними лабораторіями органом оцінки відповідності, ефективними методами управління ризиками зумовлює потребу подальших досліджень цієї тематики.

Постановка завдання. Метою статті є ідентифікація можливих ризиків у випробувальній лабораторії органу оцінки відповідності при впровадженні системи ризик-орієнтовного менеджменту в лабораторії. Метою ідентифікації ризиків є складання повного переліку можливих ризиків, які можуть вплинути на досягнення цілей лабораторії в рамках системи менеджменту. Цей перелік необхідно визначити максимально повним, оскільки неідентифіковані ризики становлять суттєву небезпеку для досягнення поставлених цілей.

Виклад основного матеріалу дослідження. Перш ніж перейти до розгляду ризиків випробувальної лабораторії органу оцінки відповідності, слід уточнити визначення основних понять у сфері ідентифікації ризиків:

Ризик – невизначеність щодо досягнення цілей [1, с. 1].

Ідентифікація ризику – процес виявлення, усвідомлення та опису ризику [1, с. 4].

Опис ризику – структурований виклад ризику, який здебільшого охоплює чотири елементи: джерела, події, причини та наслідки [1, с. 4].

Подія – виникнення чи зміна конкретної низки обставин [1, с. 4].

Власник ризику – фізична чи юридична особа, яка відповідає за ризик і наділена повноваженнями керувати ним [1, с. 5].

Оцінка ризику – порівняння результатів аналізу ризику з критеріями ризику, щоб визначити, чи є ризик і/або його величина прийнятними чи допустимими.

Важливим аспектом при виборі методу оцінки ризиків є можливість давати послідовні і прогнозовані результати, які досягаються ефективніше і результативніше за умови, якщо діяльність усвідомлюється і управляється як взаємозв'язані процеси, які функціонують як злагоджена система. Будь-яка система менеджменту якості насамперед призначена для управління взаємопов'язаними процесами, які спрямовані на досягнення цілей випробувальної лабораторії органу оцінки відповідності в області якості. Розуміння того, яким чином цією системою якості створюються результати, дозволяє організації ефективно оптимізувати систему та її результати діяльності.

Класифікація ризиків повинна будуватися з урахуванням системного і процесного підходу, тобто ризики повинні відбивати цілісність і стійкість процесу, що відбувається в організації. При побудові класифікації необхідно аналізувати джерела ризику, об'єкти, що несуть ризик, суб'єкти, які сприймають його. Ідентифікація ризиків насамперед повинна

здійснюватися на всіх рівнях роботи випробувальної лабораторії органу оцінки відповідності відповідно до вибраної моделі процесів. При ідентифікації ризиків керівник випробувальної лабораторії повинен визначити таку інформацію:

- 1) назву ризику;
- 2) опис ризику;
- 3) причини появи ризику;
- 4) відповідальну особу.

Дуже важливо виявити усі можливі події ризику на етапі ідентифікації, оскільки якщо на цьому етапі таку подію не виявлено, то і провести подальший аналіз буде не можливо.

У випробувальних лабораторіях органу оцінки відповідності можна виділити застосування таких методів ідентифікації ризику:

Мозкова атака – допоміжний метод ризик-менеджменту, який забезпечує збір великої кількості ідей та оцінок від компетентних осіб щодо ідентифікації потенційних видів відмов і пов'язаних із ними чинників, критерії прийняття рішень. Сформований перелік ідей та оцінок у подальшому ранжується групою експертів. Цей метод передбачає застосування спеціальних прийомів активізації учасників обговорення [2, с. 18].

Структуроване або напівструктуроване опитування – допоміжний метод ризик-менеджменту, який забезпечує збір інформації від компетентних осіб щодо ідентифікації потенційних ризиків за допомогою аркушів наведених запитань. Застосовується у випадку, коли зібрати експертів для «мозкової атаки» не можливо або не доречно. Є засобом для отримання вхідних даних для подальшого загального оцінювання ризиків.

Метод Дельфі, або метод експертних оцінок – допоміжний метод ризик-менеджменту, який забезпечує підготовку консенсусної оцінки групи експертів, які сприятимуть ідентифікації джерела ризику та його впливу, кількісному оцінюванню ймовірностей і наслідків, оцінюванню ризиків. Передбачає індивідуальну незалежну роботу експертів.

Переліки контрольних запитань – метод пошуку, який дозволяє ідентифікувати ризики, уможливаючи складання переліку типових невизначеностей для подальшого їх розгляду.

Попередній аналіз небезпечних чинників – метод пошуку, призначений для ідентифікації небезпечних чинників і ситуацій / подій, які можуть завдати шкоди конкретним видам діяльності, технічному засобу чи системі.

Дослідження небезпечних чинників і працездатності (HAZOP) – метод функціонального аналізу, який дає змогу ідентифікувати ризики, щоб

визначити можливі відхилення від передбачуваної / очікуваної діяльності, виявити критичність відхилів.

Аналіз небезпечних чинників і критичні точки контролю (НАССР) – метод функціонального аналізу, який є систематичним, проактивним і превентивним для забезпечення якості продукції, надійності та безпечності процесів за допомогою вимірювання і моніторингу перебування визначених характеристик у встановлених межах.

Загальне оцінювання екологічного ризику – метод аналізу сценарію, який дозволяє ідентифікувати та аналізувати небезпечні чинники, можливі способи впливу цього чинника на цільовий об'єкт для встановлення ймовірності виникнення конкретної шкоди.

Структурований метод «Що якщо» (SWIFT) – допоміжний метод ризик-менеджменту, який стимулює тематичні робочі групи експертів ідентифікувати ризики.

Аналіз сценаріїв – метод, який належить до групи аналізу сценарію, що забезпечує визначення уявлень або екстраполяцією на основі ризиків, зокрема фактичних, за припущенням, що кожний із сценаріїв можна реалізувати.

Аналіз впливу на діяльність – метод, який дає змогу аналізувати критичність і строки відновлення ключових бізнес-процесів, що постраждали внаслідок дестабілізації пов'язаних із цими процесами ресурсів (персонал, устаткування, інформаційні технології), забезпечуючи досягнення цілей організації.

Аналіз першопричин – метод аналізу сценарію, який забезпечує аналіз окремої втрати, що сталася з метою розуміння зумовлених чинників та того, як систему чи процес можна вдосконалити, щоб у подальшому уникнути аналогічних втрат.

Аналіз видів і наслідків відмов – метод функціонального аналізу, який дає змогу ідентифікувати характер відмов і чинники їх виникнення, їхні впливи. Застосовується для аналізу: 1) проекту (продукції), 2) системи, 3) виробничого чи складального процесу, 4) послуг, 5) програмних засобів. Може бути доповнений аналізом критичності із визначенням важливості кожного виду відмов за допомогою якісних, напівкількісних чи кількісних підходів.

Аналіз дерева відмов – метод аналізу сценарію, за яким спочатку зазначають небажану кінцеву подію, а потім визначають усі способи, за якими вона може відбутися. Елементи відображають графічно у формі деревоподібної схеми для подальшого аналізу способів послаблення / усунення потенційних небезпек.

Аналіз дерева подій – метод аналізу сценарію, який забезпечує переведення ймовірностей різних подій у можливі результати.

Аналіз причин і наслідків – метод аналізу сценарію, який поєднує аналіз дерева відмов і дерева подій, що дає змогу враховувати затримки у часі.

Аналіз причинно-наслідкових зв'язків – метод аналізу сценарію, який забезпечує групування зумовлених чинників ризику у різні категорії. Результат відображається графічно у формі деревоподібної структури чи діаграми Ісікави.

Аналіз рівнів захисту (LOPA) – метод загального оцінювання засобів контролю, їх результативності (метод бар'єрів).

Дерево рішень – метод, який застосовують у керуванні проектними ризиками чи за інших обставин для вибору найкращого способу дій за наявності невизначеності у формі деревоподібної діаграми.

Загальне оцінювання надійності людини – допоміжний метод ризик-менеджменту, який забезпечує оцінки впливу помилок персоналу на дієвість системи.

Аналіз за схемою «краватка-метелик» – простий метод загального оцінювання засобів контролю, який дає змогу описати та проаналізувати варіанти розвитку ризику з початку (визначення небезпечних чинників) до наслідків, поєднуючи їх у графічній формі дерева відмов (аналіз причин подій) і дерева подій (аналіз наслідків).

Технічне обслуговування, зорієнтоване на забезпечення безвідмовності – метод функціонального аналізу, який дає змогу ідентифікувати політики, що треба запровадити для керування відмовами, щоб ефективно досягати необхідного рівня безпеки, готовності та економічності функціонування всіх типів устаткування.

Аналіз паразитних схем – метод функціонального аналізу, який дає змогу ідентифікувати паразитні (приховані) стани технічного засобу, програмного засобу чи їх поєднання, які мають випадковий характер; станів, що можуть спричинити виникнення небажаної події чи перешкоджати виникненню бажаної події та не може бути спричинений відмовою якогось складника.

Марковське аналізування – статистичний метод, який здебільшого використовується для аналізу ремонтпридатності складних систем, що можуть бути у багатьох станах, зокрема й у стані справності (іноді його називають аналізом «простору станів»).

Імітаційне моделювання за методом Монте-Карло – статистичний метод, який використовують для виявлення сукупних змін у системі сукупності вхідних даних, що мають визначений розподіл та пов'язані з результатом визначеними взаємозв'язками.

Байсова статистика і мережі Байсса – статистичний метод, що передбачає використання даних апіорного розподілу для оцінювання ймовірності результату.

Криві FN – спосіб графічного зображення ймовірності подій, які спричиняють рівень шкоди для популяції. Криві FN показують накопичену частоту (F), з якою N чи більше представників популяції зазнаватимуть впливу.

Показники ризику – кількісна оцінка міри ризику, отримана з використанням бальних оцінок на основі порядкових шкал, які дають змогу привести низки чинників, що впливають на рівень ризику, до єдиної числової бальної оцінки цього рівня.

Матриця «наслідок / ймовірність» – засіб поєднання якісних і кількісних оцінок наслідків та ймовірностей для визначення рівнів ризику чи їх ранжування.

Аналіз витрат і вигід (СВА) – метод оцінювання ризику, за яким загальні очікувані витрати порівнюються з загальними очікуваними вигодами з метою вибору найкращого / найрентабельнішого варіанту.

Багатокритеріальний аналіз рішень (MCDA) – метод, що використовує низку критеріїв для оцінювання загальної цінності сукупності варіантів (формування матриці варіантів і критеріїв, ранжованих і агрегованих для отримання бальної оцінки варіантів).

Приклади назви ризику та наслідків у випробувальній лабораторії органу оцінки відповідності наведено в табл. 1.

Ідентифікація ризиків займається питаннями знаходження, складання переліку та опису елементів ризику. До останніх відносять джерела ризиків або небезпеки, можливі загрози, події, наслідки та ймовірність. Пропонується використовувати такий алгоритм ідентифікації ризиків організації:

1. Виявлення внутрішніх і зовнішніх джерел ризику: події, обтяжені ризиком, і наслідки цих подій за визначеними сферами діяльності.

2. Визначення цілей організації.

3. Визначення виду і напряму впливу джерел (пункт 1) на визначені цілі (пункт 2).

4. Визначення результату впливу ризикових подій на цілі організації: збиток, ймовірність, вірогідність, тяжкість, можливість регулювання, керованість, спрямованість на ризик).

5. Час впливу на цілі, ризикові події в минулому і прогнозування їх у майбутньому.

6. Можливі перешкоди управління ризиком в організації [3, с. 43].

Висновки. Узагальнюючи зазначене вище, можна припустити, що у випробувальній лабораторії будь-який процес може бути розглянутий як об'єкт, який виконує задану функцію і для якого властиві якісні і кількісні характеристики, що виражаються в позитивному або негативному відхиленні від очікуваного результату. Тому при виборі моделі управління ризиками у випробувальній лабораторії можливо застосувати метод аналізу видів і наслідків відмов як спосіб оцінки.

Таблиця 1

Приклади назви ризику та наслідків у випробувальній лабораторії органу оцінки відповідності

Ризик	Наслідок
Відсутність у виконавця достатнього часу для виконання роботи	Надмірне завантаження виконавців процесу
Непроведення, часткове непроведення або несвоєчасне технічне обслуговування устаткування	Відсутність контролю за виконанням графіку технічного обслуговування
Відсутність у виконавця достатньої інформації про процес, вимоги до процесу	Не проведено ознайомлення з регламентуючими документами
Застосування недовірених засобів вимірювання	Відсутність контролю за виконанням графіку перевірки
Неналежні умови експлуатації, зберігання, застосування, транспортування устаткування	Відсутність процедури ознайомлення з роботою, управлінням устаткуванням
Особистої вигоди	Залежність оплати праці персоналу від результатів випробувань об'єктів випробувань
Поламки устаткування (коли немає дублюючого)	Неможливість проведення випробування
Використання неактуальної версії нормативної документації	Недостовірність результатів випробування
Зламався прилад, заміни немає	Неможливість проведення випробування
Отримання протоколів випробування з одним номером	Необхідність відкликання протоколів у замовника
Основним замовником лабораторії є юридична особа, до складу якої входить лабораторія	Тиск замовника на лабораторію, залякування

Список літератури:

1. ДСТУ ISO GUIDE 73:2013 Керування ризиком. Словник термінів.
2. ДСТУ ISO 31000:2018 Менеджмент ризиків. Принципи та настанови (ISO 31000:2018, IDT).
3. Федулова І.В. ІДЕНТИФІКАЦІЯ РИЗИКІВ ЯК СКЛАДНИК РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТУ [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.intellect21.nuft.org.ua/journal/2016/2016_4/4.pdf.
4. Головач Т.В. Ризик-менеджмент: зміст і організація на підприємстві [Електронний ресурс] / Т.В. Головач, А.Б. Грушевицька, В.В. Швид // Вісник Хмельницького національного університету. 2009. № 3. Т. 1. С. 157–163. Режим доступу: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/ekon/2009_3_1/pdf/157-163.pdf.

Topchii N.V. RISK ANALYSIS IN THE TEST LABORATORY OF THE ASSESSING AUTHORITY

Consideration with risk and possibilities analysis in the test laboratory of the assessing authority are not a new question at all. All test laboratories are concerned with the development and implementation of a risk-based approach in their work. If the laboratory of the assessing authority knows its risks, the laboratory can figure / locate risks priorities and also understand the consequences. It will be easier to plan how to deal with risks and consequences.

Nascent conditions of errors and/or non-compliance checking, allow the test laboratory of the assessing authority to react to them earlier. Big damages or fines can be prevented. The main goal is not risk minimization, but is in real risk factors optimization and opportunities, identified by the test laboratory's strategy. The main purpose of risk assessment is to provide reliable information that will be necessary to make an informed decision on how to handle risks on the basis of objective evidence.

Risk management may include either the possibility of avoiding risk by deciding not to start or continue the activities of the testing laboratory of the assessing authority, which determines:

- 1) risk occurrence and the acceptance or increase of risk in order to achieve significant opportunities;*
- 2) actual elimination of the source of risk;*
- 3) likelihood risk switch,*
- 4) switch of consequences;*
- 5) distribution of possible existing risks by the other side or sides;*
- 6) preservation of risks on the basis of a reasonable decision.*

After planning the risk analysis, it is possible to effectively assess the performance of the testing laboratory of the assessing authority in any way. The obtained performance indicator can be used in the analysis by the management in the future.

Key words: *risk, risk management process, strategy in the risk management area, risk identification, event, consequence, risk description.*

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 004.056.5

DOI

Клименко К.О.

Науково-дослідний інститут інформатики і права Національної академії правових наук України

Костенко О.В.

Науково-дослідний інститут інформатики і права Національної академії правових наук України

Гльченко О.М.

незалежний дослідник

ЗАГАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАСОБІВ НЕГЛАСНОГО ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ТА МЕТОДИК ЇХ ВИЯВЛЕННЯ

У статті розглядається одне з головних завдань у сучасному інформаційному суспільстві – забезпечення безпеки інформації від потай встановлених на об'єкті інформаційної діяльності технічних засобів негласного отримання інформації, які створюють загрозу її витоку. Розглянуто їх класифікацію та демаскуючі ознаки. Розроблено підхід до вибору рекомендацій та обґрунтування показників ефективності заходів із захисту інформації можливо впроваджених засобів негласного отримання інформації.

Зазначається вплив новітніх інформаційно-комунікаційних технологій практично на всі сфери життєдіяльності людини та державних інституцій, а також на інноваційний розвиток сучасного інформаційного суспільства. Зауважується на масштабне застосування різноманітних інформаційних технологій як у діяльності спеціальних державних служб, так і окремими приватними суб'єктами спрямоване на отримання доступу до всіх видів даних та інформації із застосуванням засобів негласного отримання інформації.

Запропоновано класифікувати засоби негласного отримання інформації за конструктивними особливостями та принципом дії, за різновидом інформації, яка перехоплюється, за типами датчиків перехоплення інформації, за видами сигналів і діапазону частот передавання перехопленої інформації, за періодом роботи пристроїв, видами камуфляжу, способом живлення тощо. Також класифікації піддано різновиди демаскуючих ознак, притаманних різним видам засобів негласного отримання інформації, а також засоби та методи пошуку потай встановлених на об'єкті інформаційної діяльності технічних засобів негласного отримання інформації, які створюють загрозу її витоку.

Розглянуто і сукупність варіацій заподіяння шкоди внаслідок застосування на об'єкті інформаційної діяльності засобів отримання інформації. Запропоновано застосувати інтегральні показники оцінки заподіяної шкоди, які характеризують вартість втрат для суб'єктів під час втручання у їхні інформаційні ресурси сторонніх осіб з метою доступу до інформації, що оброблюється, втручання в інформаційні системи, кібератаки на інформаційні ресурси, реєстри, бази даних, електронні системи управління тощо.

Ключові слова: інформація, безпека інформації, перехоплення інформації, технічні засоби негласного отримання інформації, закладний пристрій, канал витоку інформації, власники інформації, заходи із захисту інформації, показники ефективності, інформаційні відносини.

Постановка проблеми. Підвищення рівня захищеності об'єктів інформаційної діяльності в Україні шляхом запобігання впровадженню потай встановлених технічних засобів негласного отримання інформації, які створюють загрозу її витоку (далі – ЗП) [1], захист об'єктів інформаційної діяльності від впровадження ЗП є сьогодні актуальним завданням як підприємств різних форм власності, так і суспільства загалом. Визначаль-

ним у цьому аспекті є розроблення рекомендацій щодо вибору й обґрунтування показників ефективності заходів із захисту інформації від її витоку за рахунок можливо впроваджених на об'єкті інформаційної діяльності засобів негласного отримання інформації, які створюють загрозу її витоку.

Таким чином, поєднання невисокої ціни та виключно високої ефективності, а також відсутність можливості на рівні держави викрити

механізми придбання і встановлення на об'єктах інформаційної діяльності технічних засобів негласного отримання інформації, що створюють загрозу її витоку, роблять цей канал витоку інформації одним із найнебезпечніших.

Аналіз основних досліджень і публікацій.

У наукових працях вітчизняних спеціалістів у сфері захисту інформації проблеми комплексного технічного захисту об'єктів і методик виявлення закладних пристроїв висвітлено достатньо широко (А.А. Хорев, В.І. Ярочкин, В.В. Баканов, В.Б. Шумбар, І.М. Машковський, Г.О. Максименко, С.В. Биков, К.І. Яковлев, В.О. Хорошко, Д.В. Чирков, В.В. Єрмошин).

Однак недостатньо дослідженими лишаються питання, пов'язані із класифікацією засобів негласного отримання інформації з урахуванням впливу на сферу захисту інформації розвитку сучасних інформаційно-комунікаційних технологій.

Постановка завдання. Дослідити потенційні напрями застосування сучасних засобів негласного отримання інформації, запропонувати їх сучасну класифікацію, впорядкувати методики їх виявлення та надати рекомендації щодо удосконалення сфери захисту інформації, в т. ч. і для захисту інформаційних ресурсів України.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій безпосередньо впливає на сфери діяльності всіх країн світу і є пріоритетним напрямом інноваційного розвитку та сучасного інформаційного суспільства. Водночас інформаційні технології широко використовуються як спеціальними державними службами, так і окремими юридичними та фізичними особами з метою отримання доступу до інформації та втручання в інформаційні системи, кібератак на інформаційні ресурси, реєстри, бази даних, електронні системи управління державними органами та підприємствами критичної інфраструктури. Одним із ефективних напрямів такої діяльності стало застосування засобів негласного отримання інформації.

Засоби негласного отримання інформації за конструктивними особливостями та принципом дії [7–9] можна поділити на такі типи (рис. 1):

1. За видом інформації, яка перехоплюється ЗП: акустична, видова, перехоплення інформації з основних технічних засобів (далі – ОТЗ) та допоміжних технічних засобів (далі – ДТЗС).

2. За видом датчика перехоплення інформації: мікрофон, вібродатчик, гальванічне підключення до лінії, індуктивний / ємнісний датчик, оптичні перетворювачі, приймальні антени.

3. За видом сигналу передавання перехопленої інформації: радіоканал, електричний сигнал, що розповсюджується комунікаціями, сигнали оптичного діапазону, вібраційні хвилі, акустичні хвилі, ультразвукові хвилі.

4. За діапазоном частот передавання перехопленої інформації: звукові частоти, ультразвукові частоти, радіодіапазон, оптичний діапазон.

5. За способом формування сигналу передавання інформації: без перетворення, з перетворенням (складні види модуляції, шифрування тощо).

6. За періодом роботи: постійно діючі, таймерні, активація зовнішнім датчиком (керування голосом, датчиком руху, тощо), дистанційне керування накопиченням і передачею за короткий проміжок часу.

7. Наявність камуфляжу: без камуфляжу, камуфльовані під предмети інтер'єру або речі.

8. За способом передавання інформації: пряме передавання, передавання через ретранслятор.

9. За способом живлення: автономні джерела живлення (елементи живлення, акумулятори, сонячні батареї, радіоізотопні джерела тощо), живлення від стаціонарних мереж у місці встановлення (силова або слабкострумова мережа), живлення зовнішнім опроміненням.

10. За способом встановлення: без порушення цілісності будівельних конструкцій та інтер'єру, з порушенням цілісності.

11. За видом комунікацій, які використовують ЗП: легально прокладені на об'єкті встановлення ЗП, потай прокладені комунікації ЗП.

Виявлення можливо впроваджених на об'єкті інформаційної діяльності ЗП здійснюється відповідно до наведеної вище класифікації та за їх демаскуючими ознаками.

Основними демаскуючими ознаками ЗП [3; 4], що дозволяють проводити їх виявлення та ідентифікацію, є:

– випромінювання в радіодіапазоні (до десятків ГГц) з ознаками модуляції інформацією, яка циркулює на об'єкті інформаційної діяльності [4];

– випромінювання в радіодіапазоні від передавача ЗП, що в безпосередній близькості значно перевищує рівень сигналу від інших джерел випромінювань у радіодіапазоні, у т. ч. і загальнодержавних мовних станцій [4];

– наявність побічних випромінювань у радіодіапазоні, зокрема випромінювань на другий і третій гармоніках, субгармоніках тощо [4];

– опромінення об'єкта інформаційної діяльності спрямованим (зондуєчим) потужним випромінюванням (зазвичай гармонійним) [3; 4];

троживлення) та відключення всіх без винятку споживачів;

- наявність у лінії електроживлення об'єкта інформаційної діяльності високочастотного сигналу (зазвичай несуча частота від 40 до 600 кГц, але можлива наявність сигналу на частотах до 15 МГц), модульованого інформативним низькочастотним сигналом;

- наявність струму витоку (від одиниць до декількох десятків мА) в телефонній лінії об'єкта інформаційної діяльності за відключеного телефонного апарата;

- падіння напруги (від декількох десятків до 1,5–2 В) в телефонній лінії (щодо інших телефонних ліній, підключених до відповідної розподільчої коробки) при покладеній і піднятій телефонній трубці телефонного апарата, встановленого на об'єкта інформаційної діяльності;

- відмінність опору телефонної лінії об'єкта інформаційної діяльності від типового значення (для цієї лінії) при відключенні телефонного апарата і відключення лінії (від'єднання телефонних дротів) на розподільчій коробці (щитку) або кросовій об'єкта;

- придушення (не проходження) одного-двох викликів при наборі номера телефонного апарата.

Додатковими демаскуючими ознаками ЗП [3; 4], що дозволяють проводити їх виявлення та ідентифікацію, є:

- малогабаритний предмет невідомого походження та призначення, що знаходиться на об'єкті інформаційної діяльності та має одне або кілька отворів малого діаметра в корпусі;

- наявність невеликого відрізка дроту або кількох дротів, що виходить із корпусу малогабаритного предмета невідомого походження;

- наявність малогабаритного предмета на об'єкті інформаційної діяльності, походження якого невідоме і до якого підключений малогабаритний мікрофон, що знаходиться в термоусадці або пластиковій трубці;

- наявність збірок автономних елементів живлення (акумуляторних батарей) або блоків живлення невідомого призначення, які не належать до систем та / або обладнання об'єкта інформаційної діяльності;

- наявність у малогабаритних предметах невідомого походження та призначення напівпровідникових елементів, що виявляються при обстеженні їх локатором нелінійностей;

- наявність у малогабаритних предметах невідомого походження та призначення провідників або інших деталей, які виявляються при просвічуванні рентгенівськими променями.

Крім того, на об'єкті інформаційної діяльності можуть бути впроваджені камуфльовані ЗП, що за зовнішнім виглядом не відрізняються від об'єкта імітації, особливо якщо ЗП встановлюється в корпус побутового предмета без зміни його зовнішнього вигляду. Камуфльовані ЗП, які встановлюються в малогабаритні предмети, обмежують можливості останніх. Ці обмеження можуть служити непрямими ознаками закладних пристроїв.

У ряді випадків камуфльовані ЗП виявляються за наявністю в обстежуваному предметі не властивих йому напівпровідникових елементів, що виявляється при обстеженні предмета локатором нелінійностей. Деякі камуфльовані ЗУ не відрізняються від оригіналів навіть за ретельного зовнішнього огляду. Їх можна виявити тільки при просвічуванні предметів рентгенівськими променями.

Крім того, щоб виключити можливість виявлення ЗП шляхом розбирання, місця з'єднань частин склеюють кустарним способом.

Вивчення й узагальнення матеріалів вітчизняної та зарубіжної преси за останні роки, а також матеріали, розміщені в мережі Internet, свідчать про те, що суб'єкти оперативно-розшукової діяльності та фірми-виробники при розробці та виробництві ЗП приділяють особливу увагу скритності їх роботи.

Крім того, провідні країни віддають перевагу науковим дослідженням і розробкам у сфері мікроелектроніки. Західні експерти вважають, що унікальні технології в поєднанні з новітніми засобами мікроелектроніки вже в недалекій перспективі дозволять створити і налагодити промисловий випуск надмалих інтегральних пристроїв, які мають функції роботів. Розміри подібних конструкцій обмежуватимуться міліметрами. Вони застосовуватимуться в різних сферах життя, включаючи інформаційно-технічну боротьбу. Таким чином, подальший розвиток ЗП [7–9], швидше за все, буде здійснюватися за такими основними напрямками, як:

- мініатюризація закладних пристроїв на основі сучасних досягнень у галузі мікроелектроніки;

- зниження їх електроспоживання та / або перехід на живлення від стаціонарних мереж у місці їх встановлення;

- розробка технічних і схемних рішень у напрямі підвищення просторової, частотної, енергетичної, тимчасової, структурної та інформаційної скритності роботи ЗП. Зокрема, як рішення для ЗП можуть використовуватися:

- а) цифрові та імпульсні види модуляції;

- б) накопичення перехопленої інформації та її передача за короткий проміжок часу;

в) застосування для передачі перехопленої інформації шумоподібних сигналів;

г) застосування для передачі нових, більш високих діапазонів частот від десятків до сотень ГГц;

д) використання для передачі перехопленої інформації спеціальних вузькоспрямованих антенних систем;

е) максимальне зниження потужності передавача;

ж) застосування для передачі перехопленої інформації наявних у країні мереж стільникового зв'язку тощо;

– розробка і створення мініатюрних керуванних засобів доставки ЗП на об'єкт інформаційної діяльності;

– розробка і впровадження засобів ретрансляції перехопленої інформації, що використовують для передачі на пункти контролю мережі загального користування, та відповідні протоколи обміну даними;

– розвиток і вдосконалення систем дистанційного керування ЗП;

– розробка джерел автономного електроживлення на нових принципах побудови;

– розробка та вдосконалення вже наявних пасивних і напівактивних ЗП – ендовібраторів. Використання для їхньої роботи наявних мереж загального користування.

Позитивні результати, отримані при проведенні інформаційно-технічних заходів із використанням потай встановлених на об'єкті інформаційної діяльності технічних засобів негласного отримання інформації, які створюють загрозу її витоку, дозволяють прогнозувати можливість їх широкого використання в Україні найближчим часом.

Пошук і виявлення закладних пристроїв здійснюється з використанням пошукової апаратури: детекторів відеокамер, індикаторів поля зі функцією частотоміра, радіоприймачів і аналізаторів спектра, програмно-апаратних комплексів, апаратури для перевірки провідних ліній, локаторів нелінійностей, рентгенівських комплексів, металошукачів, тепловізорів, ультразвукових та інших приладів і допоміжного обладнання.

Послідовність етапів виявлення ЗП [2–4]:

1. Підготовчий етап:

– обстеження та вивчення об'єкта інформаційної діяльності (вивчення та попередній огляд);

– визначення заходів і способів активації ЗП і вимог до тестових сигналів, вибір (розробка) тестових сигналів;

– вибір технічних засобів, приладів та обладнання, необхідних для проведення робіт;

– розробка плану проведення пошукових робіт;

– попередній аналіз радіочастотної обстановки (в т. ч. випромінювань в оптичному діапазоні частот) за межами (в оточенні) ОІД;

– розподіл сил пошукової групи, технічних засобів, приладів та обладнання за місцем і часом проведення робіт.

2. Основний етап:

– заходи з активації ЗП, що, можливо, встановлені на ОІД;

– заходи з виявлення прихованих систем відеоспостереження;

– аналіз радіочастотної обстановки в межах ОІД (у т. ч. випромінювань в оптичному діапазоні частот) та ідентифікація виявлених сигналів;

– заходи з локалізації виявлених на ОІД джерел радіовипромінювання;

– пошук ЗП, встановлених (підключених) на провідних комунікаціях, що розташовані на ОІД (проходять через ОІД);

– пошук ЗП методами неруйнівного контролю (за допомогою нелінійних локаторів, металошукачів, рентгенівських комплексів, тепловізорів, ультразвукових та інших приладів неруйнівного контролю);

– пошук ЗП, встановлених на / у будівельних, огорожувальних та оздоблювальних конструкціях (матеріалах), меблях, предметах інтер'єру, сувенірах, технічних засобах тощо, які розміщені на ОІД.

Найпростішими і найбільш дешевими пошуковими пристроями для виявлення ЗП є індикатори електромагнітного поля із функцією індикації частоти, які світловим або звуковим сигналом сигналізують про наявність у точці розташування антени електромагнітного поля з напруженістю, вищою за порогову (встановлену).

Чутливість індикаторів електромагнітного поля мала, тому вони дозволяють виявляти радіовипромінювання ЗП в безпосередній близькості від них. Істотно кращу чутливість мають спеціальні радіоприймачі з можливістю автоматизованого сканування радіодіапазону. Вони забезпечують пошук у діапазоні частот від десятків кГц до десятків ГГц.

Найкращі можливості для пошуку ЗП з передачею перехопленої інформації в радіодіапазоні мають аналізатори спектра. Крім перехоплення радіовипромінювань закладних пристроїв, вони дозволяють аналізувати їхні характеристики, що важливо при виявленні ЗП, які використовують для передачі інформації складні види модуляції.

Можливість сполучення сучасних спеціальних радіоприймачів із переносними комп'ютерами

послужило основою для створення автоматизованих комплексів для пошуку ЗП (програмно-апаратних комплексів контролю).

Крім програмно-апаратних комплексів, побудованих на базі приймачів із функцією сканування радіодіапазону і переносних комп'ютерів, для пошуку закладних пристроїв використовуються спеціально розроблені багатофункціональні комплекси типу «OSCOR» або його аналоги.

Спеціальні комплекси та / або апаратура для контролю проводних ліній дозволяють проводити вимірювання параметрів (напруги, струмів, опорів тощо) телефонних, слабкострумівових ліній і ліній електроживлення, а також виявляти в них сигнали закладних пристроїв.

Велику групу утворюють пошукові пристрої, призначені для виявлення та / або локалізації закладних пристроїв за фізичними властивостями елементів електричних схем, що входять до їх складу, або елементів їх конструкцій. Нині найбільш достовірні результати забезпечують засоби для виявлення напівпровідникових елементів по їх нелінійним властивостям – локатори нелінійностей.

Принцип роботи локаторів нелінійностей близький до принципів роботи радіолокаційних станцій, широко застосовуваних для радіолокаційної розвідки об'єктів. Істотна відмінність полягає в тому, що, якщо приймач радіолокаційної станції приймає перевипромінений об'єктом зондуєчий радіосигнал на частоті випромінюваного радіосигналу, то приймач локатора нелінійностей приймає 2-ю і 3-ю гармоніки перевипроміненого радіосигналу. Поява у перевипроміненому сигналі цих гармонійних складових частин зумовлена нелінійністю характеристик напівпровідникових елементів.

Металопшукачі дозволяють виявляти ЗП за наявності в них металевих елементів конструкцій, насамперед металевих корпусів ЗП або інших металевих елементів конструкцій.

Переносні рентгенівські комплекси застосовуються для виявлення камуфльованих ЗП або ЗП, призначення яких не вдається виявити без їх розбирання, насамперед тоді, коли розбирання неможливе без руйнування знайденого об'єкта.

Рекомендації з вибору й обґрунтування показників ефективності заходів із захисту інформації від її витоку за рахунок можливо впроваджених засобів негласного отримання інформації, які створюють загрозу її витоку.

Вибір показників ефективності заходів із захисту інформації (далі – заходів ЗІ) від її витоку за рахунок можливо впроваджених засо-

бів негласного отримання інформації, які створюють загрозу її витоку, визначаються такими факторами, як призначення методик; технологія оцінки ефективності та вибір заходів ЗІ; цільове призначення заходів із ЗІ, яке полягає в запобіганні шкоди суб'єктам інформаційних відносин (далі – ІВ) від загроз безпеці інформації [5; 6].

Виходячи з призначення методик, загальної технології оцінки ефективності та вибору заходів захисту інформації, можна сформулювати деякі вимоги до показників ефективності заходів із ЗІ:

- показники ефективності повинні вибиратися з урахуванням системного підходу до дослідження питань оцінки ефективності та вибору заходів ЗІ, тобто з урахуванням завдань, що вирішуються у процесі аналізу та синтезу;

- на етапі аналізу для оцінки ступеня небезпеки загроз витоку інформації за рахунок ЗП бажано, щоб показники ефективності могли набувати абсолютні значення;

- на етапі синтезу показники ефективності повинні забезпечувати можливість проведення порівняльної оцінки різних за характером і способом реалізації заходів ЗІ, тому бажано, щоб зазначені показники могли вимірюватися у відносних одиницях.

З огляду на те, що цільовим призначенням заходів ЗІ є запобігання загрозам інформації, як показники ефективності заходів ЗІ повинні бути обрані показники запобігання шкоди з використанням цих заходів суб'єктами інформаційних відносин від загроз витоку інформації.

Як суб'єкти інформаційних відносин розглядаються: користувачі інформації, особи, про яких інформація гласно або негласно накопичується й обробляється, власники інформації або уповноважені ними органи та / або організації з правом володіння і розпорядження, власники та користувачі інформації, органи управління інформацією.

Для вибору показників, що характеризують збиток від загроз витоку інформації через впровадження ЗП, необхідно проаналізувати механізм виникнення збитків від цих загроз безпеці інформації (далі – БІ).

На нашу думку, шкода від порушення безпеки інформації за рахунок можливо впроваджених ЗП на типовому об'єкті інформаційної діяльності є наслідком таких подій (рис. 2):

- загрози БІ за рахунок перехоплення інформації, що обробляється технічними засобами обробки інформації, встановленими на об'єкті інформаційної діяльності;

- загрози БІ за рахунок перехоплення фізичних полів, які створюються основними та

допоміжними технічними засобами, встановленими на об'єкті інформаційної діяльності;

– загрози БІ за рахунок людей – носіїв інформації та / або маючих доступ до інформації у процесі її обробки.

Як приклад, для встановлення причинно-наслідкових зв'язків, що описують процес виникнення збитків суб'єктам інформаційних відносин внаслідок порушення безпеки інформації через застосування ЗП, розглянемо наслідки впливу загроз витоку інформації з об'єкта інформаційної діяльності: перехоплення інформації, яка обробляється технічними засобами обробки інформації, встановленими на об'єкті інформаційної діяльності, втрата відомостей як про окремі елементи, так і про об'єкт інформаційної діяльності загалом, перехоплення елементів доступу як до технічних засобів (залежно від типу засобу), так і на ОІД загалом, репутаційні (судові позови, пов'язані з розголошенням інформації) та фінансова шкода, погіршення якості функціонування

технічних засобів, яке може проявлятися як погіршення їх тактико-технічних характеристик (часових, енергетичних, частотних тощо).

З огляду на те, що технічні засоби обробки інформації, встановлені на об'єкті інформаційної діяльності, є матеріальною основою процесу обробки інформації на ОІД, перехоплення елементів доступу та / або погіршення їх тактико-технічних характеристик (далі – ТТХ) автоматично веде до зниження ефективності процесу обробки інформації і далі, через зниження ефективності завдань, що вирішуються, до зниження ефективності функціонування ОІД загалом.

У свою чергу, це призводить до втрат та / або витрат, які несуть ОІД, вид і масштаб яких визначаються такими факторами:

- змістом інформації, що обробляється на ОІД;
- сферою застосування (використання) результатів обробки інформації (вихідної інформації);

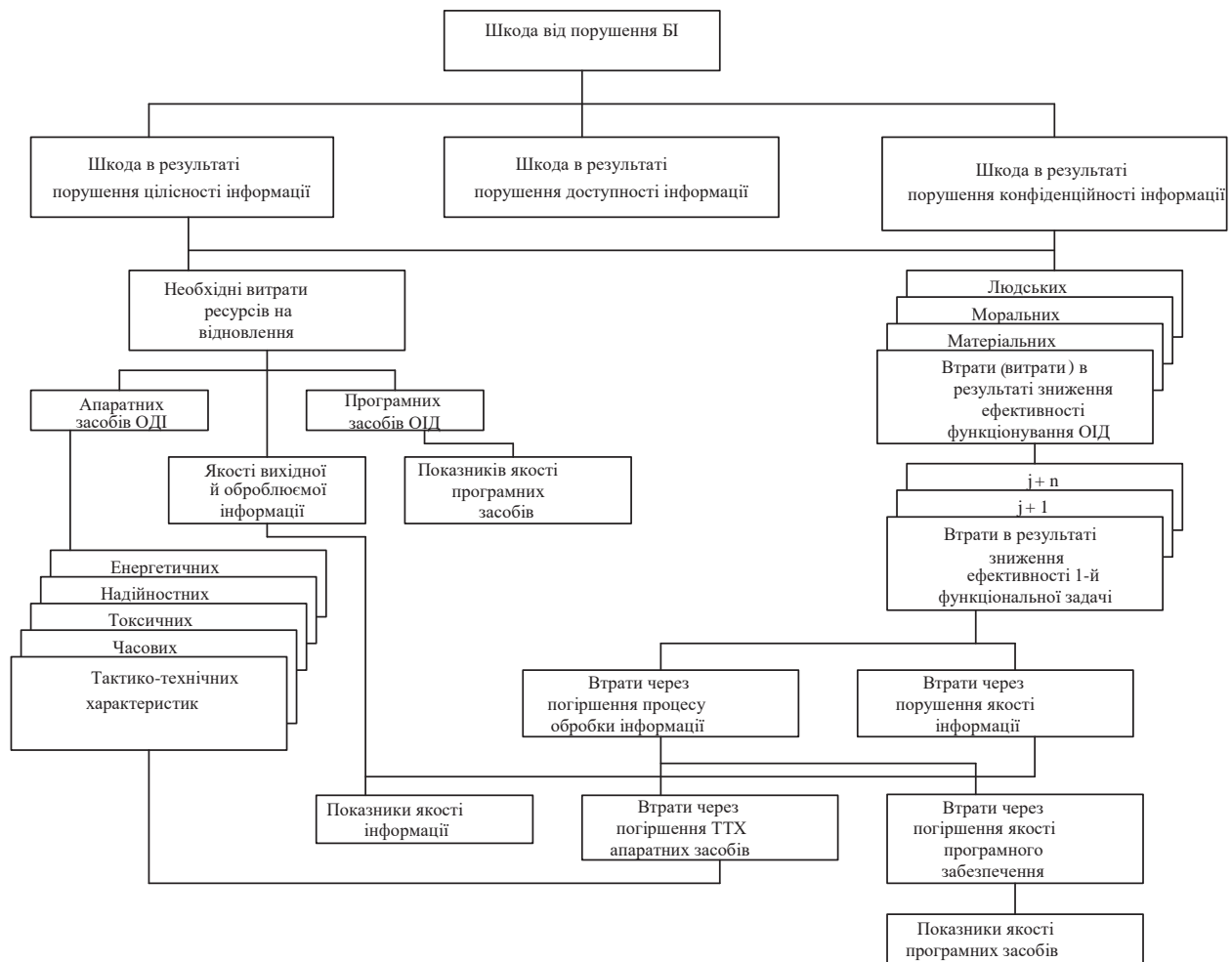


Рис. 2. Шкода від загроз безпеці інформації

- ступенем та обсягом інформації;
- видом джерела загроз інформації та метою його діяльності.

Аналогічні наслідки виникають у разі впливу загроз БІ на програмні засоби, що використовуються у процесі обробки інформації на ОІД, а також впливу загроз БІ на фізичні поля – носії інформації і на людей – носіїв інформації та / або маючих доступ до інформації у процесі її обробки (персонал ОІД, користувачі ОІД, джерела інформації).

Як інтегральний показник для оцінки заподіяної шкоди обраний показник «вартість втрат внаслідок порушення БІ», який загалом є функцією від декількох показників нижнього рівня, що залежать від виду порушення БІ (порушення цілісності, доступності та / або конфіденційності інформації), а також від виду втрат, серед яких можна виділити:

- витрати на відновлення апаратних, програмних засобів і якості інформації;
- втрати внаслідок зниження ефективності функціонування ОІД.

Більш конкретний зміст показників заподіяної шкоди на цьому рівні залежить від конкретних умов, тобто від того, які показники обрані для оцінки ефективності функціонування ОІД (рис. 3). Наприклад, для автоматизованих систем управління залежно від їх призначення як показник ефективності може бути використаний один із таких

- середній час циклу управління;
- середній час обробки інформації;
- середній час виконання сукупності розрахунків;
- середній час доведення інформації до споживача тощо.

Отже, як показники заподіяної шкоди можуть бути використані:

- відносне або абсолютне збільшення середнього часу циклу управління або відповідна цій події вартість втрат для суб'єктів ІВ;
- відносне або абсолютне збільшення середнього часу обробки інформації або відповідна цій події вартість втрат для суб'єктів ІВ тощо.

Кожен із цих показників, у свою чергу, є функцією від показників більш низького ієрархічного рівня:

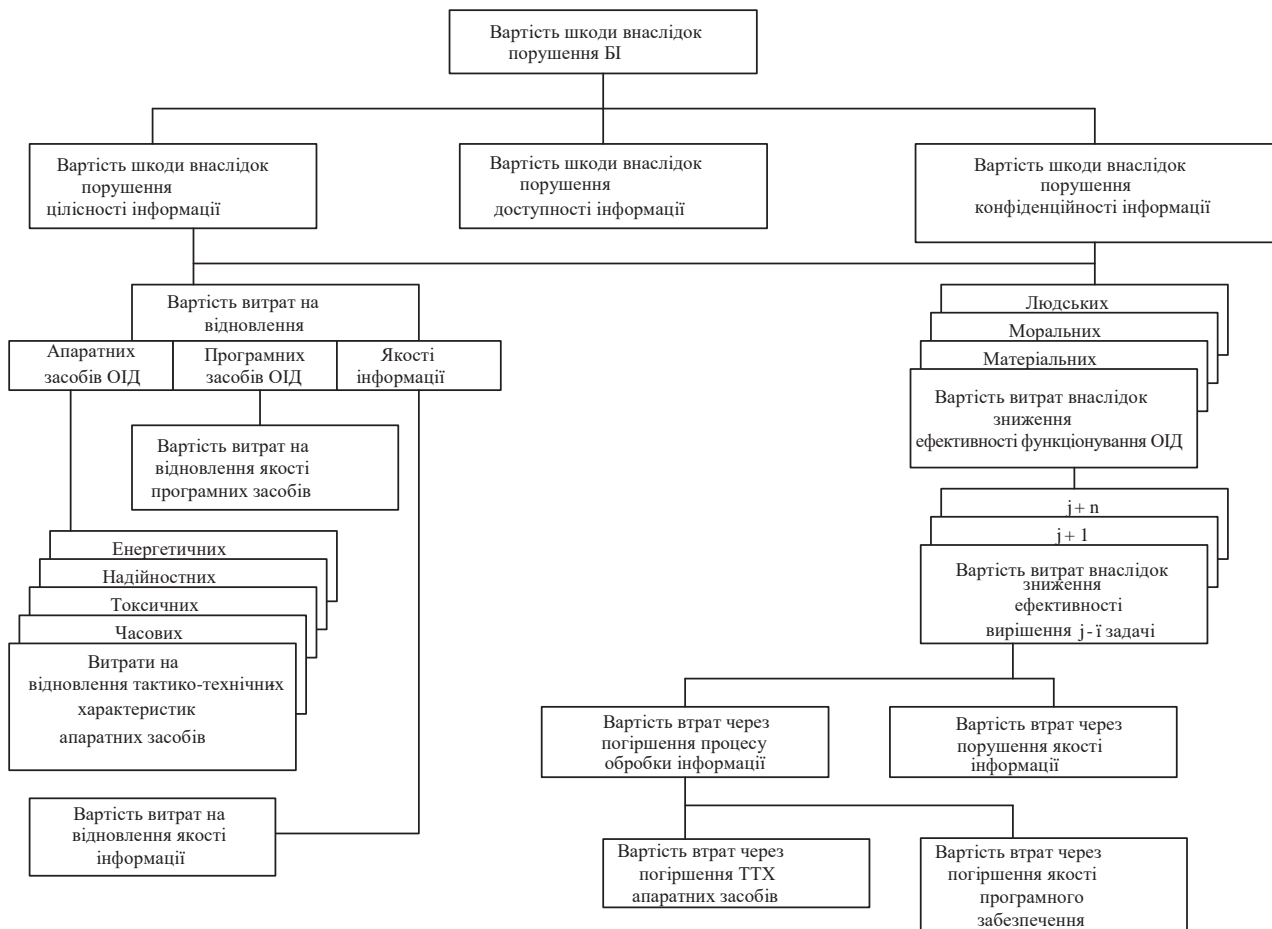


Рис. 3. Ієрархія видів шкоди від загроз безпеці інформації

– показників ефективності розв’язуваних об’єктом приватних функціональних завдань;

– показників ефективності процесу обробки інформації;

– показників якості вихідної та оброблюваної на об’єкті інформації;

– показників якості функціонування апаратних і програмних засобів.

Кожен із цих показників є функцією від показників більш низького ієрархічного рівня:

– показників ефективності розв’язуваних об’єктом окремих функціональних завдань;

– показників ефективності процесу обробки інформації;

– показників якості вихідної й оброблюваної на об’єкті інформації;

– показників якості функціонування апаратних і програмних засобів.

Кожен із перерахованих показників також може бути представлений системою показників ще більш низького рівня. Наприклад, для апаратних засобів такими показниками можуть служити тактико-технічні характеристики, вид і допустимі межі зміни котрих вказуються у формулярі на ці засоби.

Ця ж система показників може бути використана і для оцінки ефективності заходів ЗІ, якщо її розглядати як здатність запобігати заподіяння шкоди суб’єктам ІС від порушення БІ.

Для вибору проблемно-орієнтованої системи показників, тобто системи показників, які «покри-

вають» конкретні умови ОІД, необхідно, виходячи з наведених вище рекомендацій, сформулювати свою систему показників ефективності заходів ЗІ, прив’язавши її до конкретних умов експлуатації ОІД з урахуванням: призначення, сфери використання ОІД, завдань, що вирішуються на ОІД, найімовірніших видів і джерел загроз БІ, показників, які прийняті для оцінки ефективності ОІД та вирішуються на ОІД окремих функціональних завдань, структури та складу ОІД, моделі процесу обробки інформації на ОІД, змісту інформації, що обробляється на ОІД, тощо.

Висновки. Підсумовуючи вищевикладене, можна констатувати, що подальше широке застосування ЗП буде здійснюватися не лише суб’єктами оперативного-розшукової діяльності, а і політичними або бізнесовими угрупованнями в Україні з метою як здійснення фінансового впливу на суб’єкта господарювання різних форм власності, так і зміни політичного курсу країни загалом.

Отже, за сучасних умов безпека інформаційних ресурсів може бути забезпечена тільки комплексною системою захисту інформації. Комплексна система захисту інформації повинна бути: безперервною, плановою, цілеспрямованою, конкретною, активною, надійною. Система захисту інформації повинна спиратися на систему видів власного забезпечення, здатного реалізувати її функціонування не тільки за повсякденних умов, але й у критичних ситуаціях.

Список літератури:

1. ДСТУ 3396.2–97. Захист інформації. Технічний захист інформації. Терміни і визначення. Київ : Держстандарт України, 1998. 19 с.
2. НД ТЗІ 2.7-011-2012. Захист інформації на об’єктах інформаційної діяльності. Методичні вказівки з розробки Методики виявлення закладних пристроїв. Київ: Адміністрація Державної служби спеціального зв’язку та захисту інформації України, 2012. 11 с.
3. Хорев А.А. Методы и средства поиска электронных устройств перехвата информации. Москва : МО РФ, 1998. 224 с.
4. Максименко Г.А. Принцип поиска радиозакладных устройств по максимальному уровню принимаемого сигнала. *Сборник научных трудов. КВИУС*. 1998. № 5. С. 224–230.
5. Хрошко В.А. Выбор критериев для оптимизации систем технической защиты информации. *Сборник научных трудов. КМУГА*. 1999. С. 7–9.
6. Ильченко А.Н., Хорошко В.О., Чирков Д.В., Браиловский М.М., Ермошин В.В. Алгоритм визначення доцільності застосування систем захисту інформації. *Збірник наукових праць. Європейський університет*. 2001.
7. Каталог фирмы COFREXPORT: Специальная техника: FRANCE, 1996. 48 с.
8. Каталог фирмы WESTIMGHOUSE Audio Intelligence Devices (WAID): Специальная техника: USA, 1996. 63 с.
9. Каталог фирмы Gesellschaft fur Funkkommunikation und Goniometrie GmbH (FUGON): Специальная техника: Germany

Klymenko K.O., Kostenko O.V., Ilchenko O.M. GENERAL CLASSIFICATION OF MEANS OF COVERT OBTAINING OF INFORMATION AND METHODS OF THEIR DETECTION

The article presents the task of ensuring the security of information, as one of the main in the modern information society, from the secretly installed on the object of information technical means of covert receipt of information, which pose a threat of its leakage. Their classification and unmasking features are considered. An approach to the selection of recommendations and substantiation of indicators of effectiveness of information protection measures of possibly implemented means of covert information retrieval has been developed.

The influence of the newest information and communication technologies on practically all spheres of human life and state institutions, as well as on innovative development and modern information society is noted. There is a large-scale application of various information technologies both in the activities of special public services and by individual private entities, aimed at gaining access to all types of data and information through the use of covert means of obtaining information.

It is proposed to classify the means of covert information retrieval according to design features and principle of operation, type of intercepted information, types of information interception sensors, types of signals and frequency range of intercepted information, device operation period, camouflage types, power mode, etc. Also classified are the types of unmasking features inherent in different types of means of covert information, as well as means and methods of searching for secretly installed on the object of information technical means of covert information, which pose a threat of its leakage.

The set of variations of causing damage as a result of application of means of obtaining information on the object of information activity is also considered. It is proposed to use integrated indicators of damage assessment, which characterize the cost of losses for entities during the intervention and their information resources of outsiders, in order to access the processed information, interference in information systems, cyber attacks on information resources, registers, databases, electronic control systems, etc.

Key words: *information, information security, information interception, technical means of secret information retrieval, embedded device, information leakage channel, information holders, information protection measures, efficiency indicators, information relations.*

Михалевський Д.В.

Вінницький національний технічний університет

ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛЕЙ РЕГРЕСІЇ В ОЦІНЮВАННІ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ БЕЗПРОВІДНИХ КАНАЛІВ СТАНДАРТУ 802.11

Аналіз сучасного стану досліджень показав, що безпровідне середовище, де працюють канали сімейства стандартів 802.11, характеризується значною кількістю різноманітних факторів впливу, які діють на основні показники ефективності. Найбільш достовірним підходом оцінювання параметрів безпровідних каналів є створення моделей і методів на базі емпіричних досліджень і статистичних зв'язків, що дає змогу враховувати велику кількість факторів впливу, але в такому разі виникає фактор, пов'язаний із рівнем адекватності моделей і статистичною достовірністю.

На основі проведених експериментальних і статистичних досліджень було встановлено, що коефіцієнт детермінації регресійного аналізу можна вважати ступенем адекватності моделей оцінювання основних параметрів безпровідного каналу стандарту 802.11. Тоді використання моделей оцінювання потужності сигналу на вході приймача й ефективної швидкості передачі інформації, побудованих на основі регресійного аналізу, має рівень адекватності моделей, не меншу за 0,95 та 0,9 відповідно.

Дослідження статистичної достовірності регресійного аналізу показали, що значення рівня флуктуацій основних параметрів каналу є наближеними до результатів, отриманих на основі довіркових інтервалів регресії. Отримано: довірковий інтервал при імовірності 0,95, який показує усереднене значення флуктуацій основних параметрів каналу для прямої видимості та з мінімальною кількістю завад; довірковий інтервал при імовірності 0,999, який показує флуктуації основних параметрів для умов приміщення де існує явище багатопроменевого поширення хвиль. Довірковим інтервалом коефіцієнтів спадання можна нехтувати, а відхилення оцінки рівня флуктуацій від середнього значення є незначним, що в найгірших випадках становитиме приблизно $\pm 1,2$ дБм та $\pm 0,4$ Мб/с.

Аналогічні результати можна отримати для інших значень імовірності за наявності інших факторів впливу.

Ключові слова: безпровідний канал, стандарт 802.11, ефективна швидкість передачі інформації, потужність сигналу, адекватність моделі, статистичний достовірність.

Постановка проблеми. Як відомо [1–4], безпровідне середовище, де працюють канали сімейства стандартів 802.11, характеризується значною кількістю різноманітних факторів впливу, які діють на основні показники ефективності. Для зменшення дії таких факторів при операціях технічної діагностики на етапах проектування й експлуатації мереж необхідно встановити їх зв'язок із основними параметрами каналу. Найбільш достовірним підходом оцінювання параметрів безпровідних каналів є створення моделей і методів на базі емпіричних досліджень і статистичних зв'язків, які отримуються із використанням методів регресії [5–7]. У свою чергу, моделі отримуються на основі регресійного аналізу зі знаходженням коефіцієнтів рівнянь регресії [8], але створення моделей базується на отриманні масивів із великою кількістю точкових вимірювань, які мають випадковий характер і піддаються впливу значної кількості факторів. Це

приводить до виникнення флуктуацій основних параметрів каналу від середньостатистичних значень [9–10], рівень яких залежить від кількості таких факторів і їх коефіцієнт впливу. Тому для всіх моделей оцінювання параметрів безпровідних каналів стандарту 802.11 на основі регресійного аналізу існує проблема адекватності та статистичної достовірності масивів вимірювань, які необхідно враховувати.

Постановка завдання. Як відомо [1], безпровідні канали стандарту 802.11 мають три основні параметри, які визначають енергетичний та інформаційний коефіцієнти ефективності: потужність сигналу на вході приймача P_m , ефективну швидкість передачі інформації V_{eff} , пропускну здатність каналу V_{pl} . Перші два параметри найбільше підходять для операцій технічної діагностики та визначення можливостей каналу в реальних задачах. Параметр P_m досить просто вимірюється за допомогою алгоритмів моніторингу [5] та апаратних

можливостей абонентських пристроїв, на відміну від V_{eff} , де необхідно використовувати додатки прикладного рівня та створювати сеанси передачі інформації. Все це супроводжується досить великою кількістю факторів впливу, які виникають як у фізичному середовищі, так і в програмному, а також на кінцевому етапі оцінювання результатів діагностики. Оскільки основні діагностичні параметри мають флуктуації, то для аналізу та побудови моделей оцінювання доцільно використовувати рівнянь регресій зі знаходженням відповідних коефіцієнтів. Внаслідок регресійного аналізу виконується пошук моделі, яка найбільш точно відповідатиме реальним значенням із високим коефіцієнтом детермінації [11]. Виникає неточність оцінювання діагностичних параметрів, що можна охарактеризувати як ще один фактор впливу на кінцевий результат. Такий фактор складається із двох складових частин, таких як: адекватність моделі на основі регресійного аналізу, що показує наскільки точно середньостатистичне значення описує отриманий масив вимірювань; статистична достовірність моделей регресії, що показує довірковий інтервал враховуючи розсіювання результатів вимірювання. Тому для врахування такого фактору необхідно виконати оцінку адекватності моделей регресії основних параметрів безпровідного каналу та визначити їх статистичну достовірність.

Постановка завдання. Метою статті є визначення ступеня адекватності наявних моделей оцінювання основних параметрів безпровідних каналів стандарту 802.11 з використанням методів регресії та встановлення їх статистичної достовірності.

Виклад основного матеріалу досліджень. Для прикладу візьмемо лінійну модель регресії для коротких каналів без перешкод і завад довжиною до 16 м [12]. Тоді, маємо такі моделі оцінювання:

$$P_m(l) \approx al + P_0 \quad V_{eff}(l) \approx bl + V_0 \quad (1)$$

де a і b – коефіцієнти спадання регресії; P_0 і V_0 – початкові значення регресії; l – довжина каналу.

Оцінку параметрів регресії можна визначити через випадкові точкові величини, які можна записати так:

$$a_m = \frac{\sum_{i=1}^n P_{m,i} \sum_{i=1}^n l_i^2 - \sum_{i=1}^n l_i \sum_{i=1}^n P_{m,i} l_i}{n \sum_{i=1}^n l_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n l_i \right)^2}, \quad P_0^m = \frac{n \sum_{i=1}^n P_{m,i} l_i - \sum_{i=1}^n l_i \sum_{i=1}^n P_{m,i}}{n \sum_{i=1}^n l_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n l_i \right)^2},$$

$$b_m = \frac{\sum_{i=1}^n V_{eff,i} \sum_{i=1}^n l_i^2 - \sum_{i=1}^n l_i \sum_{i=1}^n V_{eff,i} l_i}{n \sum_{i=1}^n l_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n l_i \right)^2}, \quad V_0^m = \frac{n \sum_{i=1}^n V_{eff,i} l_i - \sum_{i=1}^n l_i \sum_{i=1}^n V_{eff,i}}{n \sum_{i=1}^n l_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n l_i \right)^2},$$

де n – кількість вимірювань у вибірці.

Зв'язок між діагностичними параметрами можна визначити на основі функцій статистичного зв'язку, які можна отримати на основі лінійної регресії. Отримаємо:

$$V_{eff} = m_{V_{eff}}(P_m), \quad P_m = m_{P_m}(V_{eff}). \quad (2)$$

де $m_{V_{eff}}$ та m_{P_m} – коефіцієнти зв'язку регресії.

Враховуючи кореляційний зв'язок між двома випадковими величинами [11], можна стверджувати, що ступінь зв'язку між діагностичними параметрами безпровідного каналу стандарту 802.11 можна записати так:

$$r(V_{eff}, P_m) = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\left(V_{eff,i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{eff,i} \right) \left(P_{m,i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{m,i} \right) \right)}{\sigma_{V_{eff}} \sigma_{P_m}}, \quad (3)$$

де $P_{m,i}$ і $V_{eff,i}$ – вибірки вимірювальних значень основних діагностичних параметрів P_m та V_{eff} ; σ_{P_m} і $\sigma_{V_{eff}}$ – дисперсії діагностичних параметрів, що показують їх флуктуації.

Коефіцієнти регресії розраховуються як оцінка випадкових точкових величин $P_{m,i}$ і $V_{eff,i}$ [11]. Тоді, враховуючи оціночні й отримані значення діагностичних параметрів, основна регресійна залежність буде визначатися так:

$$\sum_{i=1}^n \left(P_{m,i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{m,i} \right)^2 = \sum_{i=1}^n (P_{m,i} - P_{m,i}^1)^2 + \sum_{i=1}^n \left(P_{m,i}^1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{m,i} \right)^2,$$

$$\sum_{i=1}^n \left(V_{eff,i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{eff,i} \right)^2 = \sum_{i=1}^n (V_{eff,i} - V_{eff,i}^1)^2 + \sum_{i=1}^n \left(V_{eff,i}^1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{eff,i} \right)^2,$$

де $P_{m,i}^1$ і $V_{eff,i}^1$ – передбачувані значення діагностичних параметрів; $(P_{m,i} - P_{m,i}^1)$ та $(V_{eff,i} - V_{eff,i}^1)$ – остатки регресії.

Оцінку якості моделі регресії можна оцінити залежністю передбачуваних значень від остатків, яка має назву коефіцієнт детермінації. Таким чином, можна отримати:

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(P_{m,i}^1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{m,i} \right)^2}{\sum_{i=1}^n \left(P_{m,i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{m,i} \right)^2}, \quad r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(V_{eff,i}^1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{eff,i} \right)^2}{\sum_{i=1}^n \left(V_{eff,i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{eff,i} \right)^2}. \quad (4)$$

Оскільки коефіцієнт детермінації вказує, наскільки отримана модель регресії відповідає емпіричним дослідженням, то її можна прийняти як ступінь адекватності моделей оцінювання основних параметрів безпровідного каналу стандарту 802.11.

Далі виконаємо аналіз отриманих емпіричних досліджень на основі моделей (1). Для цього скористаємося проведеними дослідженнями у роботі [12] для безпровідного каналу 802.11ac 40 МГц.

Діаграми розсіювання результатів вимірювання параметра P_m із використанням лінійної регресії наведена на рис. 1.

Модель регресії є усередненим значенням діаграми розсіювання, що проходить через середні значення таких точок. Коефіцієнти зв'язку регресії становлять: $r \approx -0,975$ та $r^2 \approx 0,95$. Розподіл параметра P_m по довжині каналу має виражені флуктуації, які в різні періоди спостереження можуть мати різні значення, але не більші, ніж в інтервалі між максимальним і мінімальним значеннями [1; 7]. Якщо встановити імовірність 0,999, то можна отримати діаграму розсіювання, де довірковий інтервал набуде розмаху, що буде еквівалентно флуктуаціям характеристик розподілу сигналу у просторі (див. рис. 1 б). Враховуючи таку закономірність, можна оцінювати рівень флуктуацій діагностичних параметрів на основі задання імовірності довіркових інтервалів регресії, нехтуючи довірковим інтервалом коефіцієнта спадання a [5; 6].

Далі розглянемо діаграму розсіювання для параметра V_{eff} , які наведено на рис. 2.

Коефіцієнти зв'язку регресії становлять: $r \approx -0,95$ та $r^2 \approx 0,9$. Такий результат підтверджує результати оці-

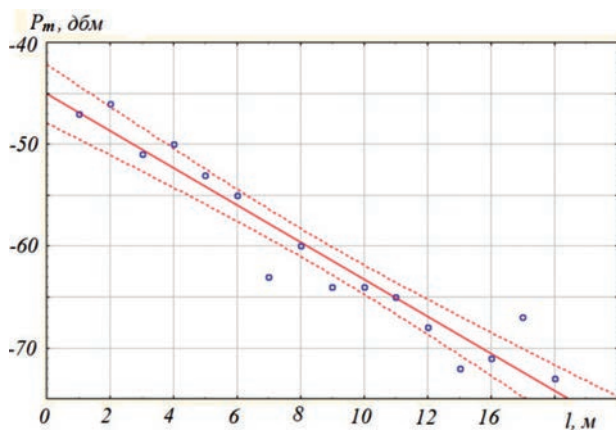
нювання достовірності емпіричних досліджень [12]. Достовірність є дещо меншою, ніж у P_m , через меншу кількість отриманих вимірювань і появу додаткових інформаційних дестабілізуючих факторів.

Враховуючи вирази (3), можна виконати регресійний аналіз між основними діагностичними параметрами. Враховуючи спільний параметр l , результати статистичного зв'язку для імовірності 0,95 можна представити на рис. 3.

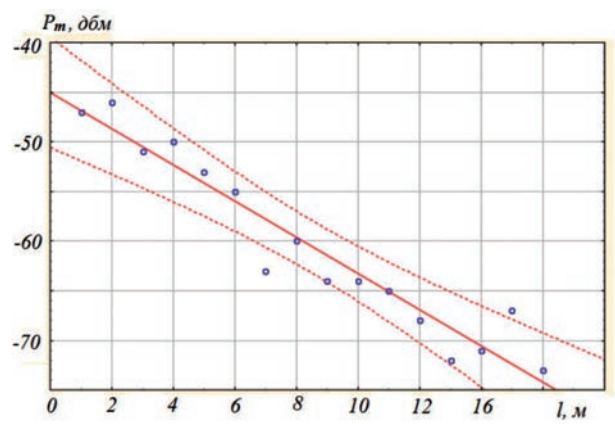
Коефіцієнти зв'язку регресії становлять: $r(V_{eff}/P_m, l) \approx 0,95$ та $r(V_{eff}/P_m, l) \approx 0,9$.

Наявність розсіювання результатів вимірювання визначає рівень статистичної достовірності основних параметрів безпроводного каналу. Тоді використання моделей, побудованих на основі регресійного аналізу, дасть адекватність моделей оцінювання потужності сигналу на вході приймача й ефективної швидкості передачі інформації, не меншою за 0,95 та 0,9 відповідно.

Використовуючи отримані результати, визначимо рівень флуктуацій основних діагностичних

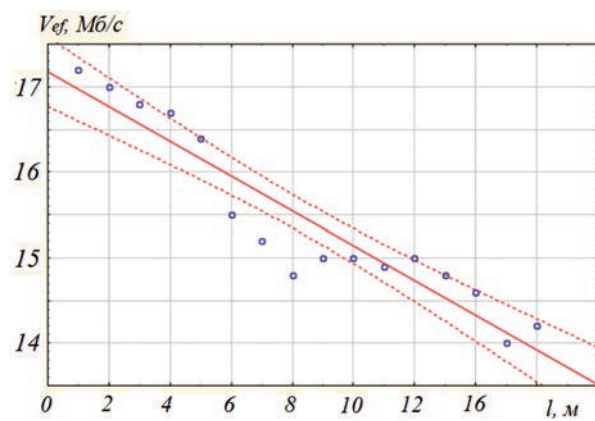


а)

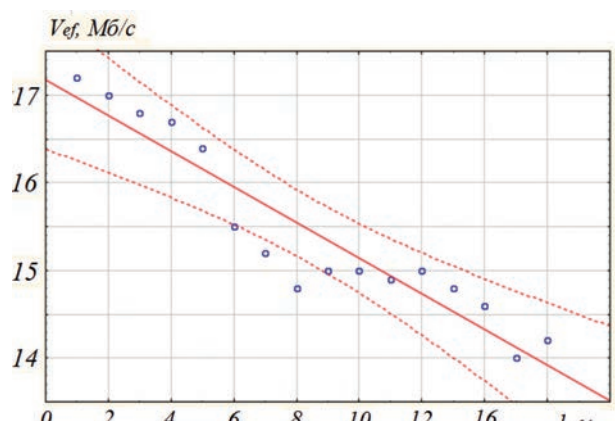


б)

Рис. 1. Діаграма розсіювання параметра P_m для: а – імовірності 0,95; б – імовірності 0,999



а)



б)

Рис. 2. Діаграма розсіювання параметра V_{ef} для: а – імовірності 0,95; б – імовірності 0,999

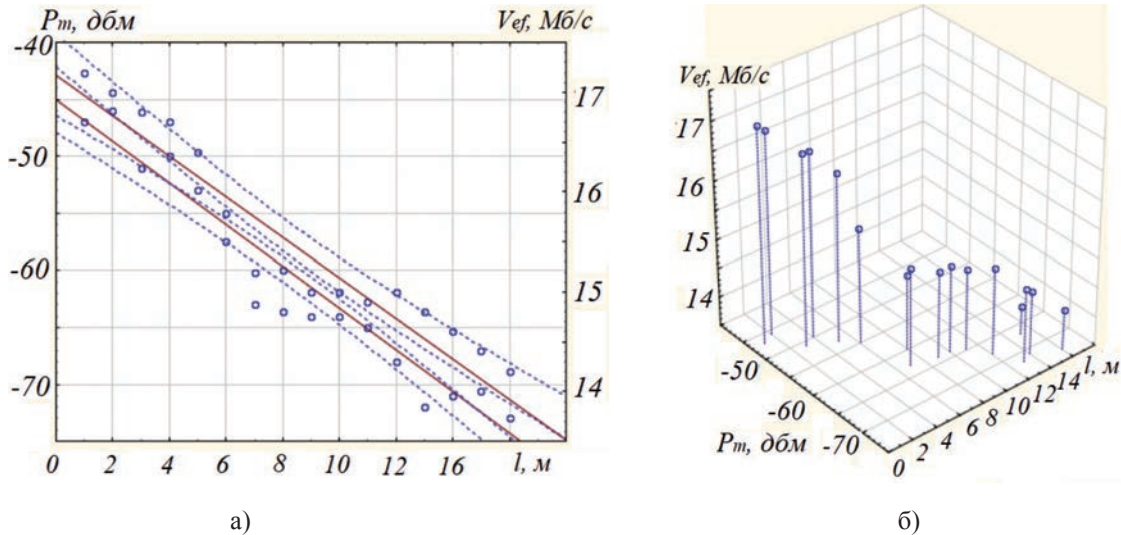


Рис. 3. Діаграми розсіювання діагностичних параметрів імовірності: а – 2-мірна; б – 3-мірна

параметрів ΔP і ΔV . Такі параметри є еквівалентом різниці між максимальним і мінімальним значенням довіркового інтервалу початкових значень регресії, які можна розрахувати так:

$$\Delta P \approx 2t\sigma_p^2 \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n l_i^2}{n^2 \sum_{i=1}^n \left(l_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i \right)^2}},$$

$$\Delta V \approx 2t\sigma_v^2 \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n l_i^2}{n^2 \sum_{i=1}^n \left(l_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i \right)^2}},$$

де t – аргумент функції Лапласа; l – довжина безпроводного каналу.

Після розрахунків отримуємо:

$$\Delta P(0,95) \approx \pm 2,5 \text{ дБм}; \quad \Delta V(0,95) \approx \pm 0,5 \text{ Мб / с}; \quad (5)$$

$$\Delta P(0,999) \approx \pm 5 \text{ дБм}; \quad \Delta V(0,999) \approx \pm 1 \text{ Мб / с}.$$

Виконуючи аналіз отриманих результатів параметрів ΔP і ΔV , можна сказати, що вони є наближеними до результатів, які отримані на основі довіркових інтервалів регресії. Тому можливо задавати довірковим інтервалом рівень флуктуацій діагностичних параметрів. Із виразів (5) видно, що

довірковий інтервал при імовірності 0,95 показує усереднене значення флуктуацій основних параметрів каналу для прямої видимості та з мінімальною кількістю завад. При імовірності 0,999 довірковий інтервал охоплює флуктуації для умов приміщення, де існує явище багатопроменевого поширення хвиль. Аналогічні результати для інших значень імовірності можна отримати за наявності інших факторів впливу. Відхилення параметрів ΔP і ΔV від середнього значення є незначним, що можна отримати приблизно $\Delta P \pm 1,2$ дБм та $\Delta V \pm 0,4$ Мб/с, що є досить незначним відхиленням відносно флуктуацій, отриманих емпіричним шляхом. Крім того, такі відхилення автоматично можуть враховуватися при встановленні певного запасу за умов контролю бітової швидкості.

Висновки. У роботі запропоновано спосіб визначення ступеня адекватності наявних моделей оцінювання основних параметрів безпроводних каналів стандарту 802.11, які побудовані на основі методів регресії. Встановлено, що для моделей оцінювання потужності сигналу на вході приймача й ефективної швидкості передачі інформації ступінь адекватності становить не менше за 0,95 та 0,9 відповідно. Використовуючи статистичну достовірність моделей регресії, можна задавати рівень флуктуацій основних параметрів каналу.

Список літератури:

1. Mykhalevskiy D.V. Investigation of wireless channels of 802.11 standard in the 5GHz frequency band. *Latvian journal of physics and technical sciences*. № 1. P. 41–51. 2019. DOI: 10.2478/lpts-2019-0004.
2. Rathod K., Vatti R., Nandre M. Optimization of Campus Wide WLAN. *International Journal of Electrical Electronics & Computer Science Engineering*. V. 4. I. 5. P. 1–6. 2017.
3. Sârbu A., Sârbu M. Şumălan C. Non Wi-Fi Devices Interference Testing in a 2.4 GHz Wi-Fi Home. *Land Forces Academy Review*. Vol. 23. I. 2 (90). P. 143–150. 2018. DOI: <https://doi.org/10.2478/raft-2018-0017>.

4. Михалевський Д.В., Номировська В.В., Постернак О.М. Дослідження передачі інформації в умовах суміщеного та сусіднього інтерференційного каналів для стандарту 802.11n. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. № 2. 2015. С. 155–159.
5. Mykhalevskiy D., Vasylykivskiy N., Horodetska O. Development of a mathematical model for estimating signal strength at the input of the 802.11 standard receiver. *Easten-European Journal of Enterprise Technologies*. № 4/9 (88). P. 38–43. 2017. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.114191.
6. Mykhalevskiy D. Construction of mathematical models for the estimation of signal strength at the input to the 802.11 standard receiver in a 5 GHz band. *Easten-European Journal of Enterprise Technologies*. № 6/9 (96). P. 16–21. 2018. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.150983.
7. Mykhalevskiy D.V., Horodetska O.S. Investigation of wireless channels according to the standard 802.11 in the frequency range of 5 GHz for two subscribers. *Journal of Mechanical Engineering Research & Developments (JMERE)*. № 42 (2). P. 50–57. 2019. Doi: 10.26480/jmerd.02.2019.50.57.
8. Бакарджисв Р.О., Комаров А.О., Особливості оцінки результатів регресійного аналізу. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. № 5. Вип. 28. 2015. С. 237–244.
9. Chapre Y., Mohapatra P., Jha S., Seneviratne A. Received Signal Strength Indicator and Its Analysis in a Typical WLAN System. *38th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks*. 2013. P. 304–307. DOI: 10.1109/LCN.2013.6761255.
10. Михалевський Д.В. Дослідження потужності сигналу приймачів сигналу WI-FI. *Proceeding of the International Scientific and Practical Conf. “TPMSPS”*. Sep. 22-24, 2014, Dubai, Київ : Знання України. С. 29–31.
11. Літнарівич Р.М. Побудова і дослідження математичної моделі за джерелами експериментальних даних методами регресійного аналізу : навчальний посібник. МEGY, Рівне, 2011, 140 с.
12. Mykhalevskiy D.V. Method for estimating the effective data rate in 802.11 channel with using monitoring algorithm. *Journal of Applied Research and Technology*. № 18 (3). 2020. P. 119–128. DOI: 10.22201/icat.24486736e.2020.18.3.1089.

Mykhalevskiy D.V. ASSESSMENT OF ADEQUACY OF REGRESSION MODELS IN EVALUATION OF MAIN PARAMETERS OF WIRELESS CHANNELS OF STANDARD 802.11

Analysis of the current state of research has shown that the wireless environment where the channels of the family of 802.11 standards operate is characterized by a significant number of different factors that affect the main performance indicators. The most reliable approach to estimating wireless parameters is to create models and methods based on empirical research and statistical relationships, which allows a large number of influencing factors to be taken into account. But in this case there is a factor related to the level of adequacy of the models and statistical reliability.

Based on experimental and statistical studies, it was found that the coefficient of determination of regression analysis, to some extent, can be considered as the degree of adequacy of models for estimating the basic parameters of the wireless channel standard 802.11. Then, the use of models for estimating the signal power at the input of the receiver and the effective data rate, built on the basis of regression analysis, has a level of adequacy of the models of not less than 0.95 and 0.9, respectively.

Studies of the statistical significance of regression analysis have shown that the values of the level of fluctuations of the main parameters of the channel are close to the results obtained on the basis of confidence intervals of regression. As a result, we obtained: a confidence interval with a probability of 0.95, which shows the average value of the fluctuations of the main parameters of the channel for direct visibility and with a minimum number of interferences; a confidence interval with a probability of 0.999, which shows the fluctuations of the main parameters for the conditions of the room where there is a phenomenon of multipath propagation. In this case, the confidence interval of the decay coefficients can be neglected, and the deviation of the estimation of the level of fluctuations from the average value is insignificant, which in the worst cases will be approximately ± 1.2 dBm and ± 0.4 Mb / s.

Similar results can be obtained for other probability values in the presence of other influencing factors.

Key words: wireless channel, 802.11 standard, effective data rate, signal strength, model adequacy, statistical reliability, statistical relationship.

УДК 621.396.946:629.783
DOI

Пономаренко С.О.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Тачиніна О.М.

Національний авіаційний університет

Лисенко О.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Кисельов В.Б.

Навчально-науковий інститут муніципального управління та міського господарства
Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Гуйда О.Г.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

МОДЕЛЬ НАЦІОНАЛЬНОЇ АЕРОКОСМІЧНОЇ СИСТЕМИ РОЗГОРТАННЯ ГЛОБАЛЬНОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

У роботі розглянуто питання розробки моделі національної аерокосмічної системи розгортання глобальної сенсорної мережі. Основна сутність проблеми полягає у виборі космічної системи, яка за своїми техніко-економічними показниками повністю задовольнятиме замовників та експлуатаційників. Проаналізовано основні типи космічних транспортних систем і реалізації різних принципів виведення корисних вантажів на орбіту Землі: «ракетний старт» і «повітряний старт». Показано особливості розвитку державного і приватного секторів космічної індустрії.

Актуальною залишається проблема зменшення вартості виведення вантажів на орбіту Землі. За допомогою «ракетного старту» не вдається задовольнити деякі принципові вимоги замовників, а саме виконати не менше 10 польотів за 10 днів при вартості кожного рейсу не більше 5 млн доларів США (це приблизно в 10 разів дешевше ціни на запуск за допомогою класичних ракет-носіїв). Останніми роками спостерігається інтенсифікація досліджень провідних космічних держав в області створення перспективних багаторазових авіаційно-космічних транспортних систем. Здебільшого це пов'язано із комерціалізацією космічної індустрії, яка набула стійкої тенденції у всьому світі.

Розглянуто сучасні вимоги до багаторазової авіаційно-космічної транспортної системи. Принципово важливим для всіх систем «повітряного старту» є суттєве зниження загальної вартості системи (розробка, виробництво, життєвий цикл), вартості пуску та питомої вартості виведення корисного навантаження. При цьому реалізується багаторазовість застосування елементів авіаційно-космічної системи при збереженні високої надійності, безпеки польотів та екологічності. Запропоновано основні концептуальні положення щодо складу, загального вигляду і основних льотно-технічних характеристик багаторазової авіаційно-космічної транспортної системи та основних характеристик його бортового інформаційно-управляючого комплексу.

Реалізація запропонованих концептуальних пропозицій по створенню багаторазової авіаційно-космічної транспортної системи не тільки відкриває нові перспективи в авіаційно-космічній індустрії, але й вирішує складні технічні проблеми у багатьох галузях науки і техніки, в тому числі в галузі аеротермодинаміки, конструкції двигунів, матеріалів, літакових систем, бортових інформаційно-управляючих комплексів і наземного обладнання.

Ключові слова: ракетний старт, повітряний старт, багаторазова авіаційно-космічна транспортна система, приватний космос, льотно-технічні характеристики, інформаційно-управляючий комплекс.

Постановка проблеми. Останніми роками спостерігається інтенсифікація досліджень провідних космічних держав в області створення перспективних багаторазових авіаційно-космічних транспортних систем. Здебільшого це пов'язано із комерціалізацією космічної індустрії, яка набула стійкої тенденції у всьому світі. Перелік секторів ринку космічної індустрії та кількість приватних компаній-учасників галузі постійно зростає [1].

Хоча ринок космічних апаратів почав формуватися відносно недавно, нині комерційні пуски – це один із найбільш динамічних і перспективних напрямів вкладання капіталів та отримання прибутку. Найяскравішим прикладом успіху у сфері приватної космонавтики є діяльність американської компанії SpaceX, яка у 2020 році першою у світі за допомогою власної ракети Falcon 9 на власному кораблі Dragon успішно запустила астронавтів на орбіту Землі [2], а також є лідером у створенні власної глобальної системи космічного високошвидкісного інтернету [3].

Сучасний досвід космічної діяльності державних космічних агентств і комерційних аерокосмічних фірм по виведенню корисних вантажів на різні навколосезонні орбіти показує, що нині створені різні типи космічних транспортних систем і реалізовані принципи виведення корисних вантажів на орбіту. Однак жодна із існуючих космічних систем за своїми техніко-економічними показниками повністю не задовольняє ні замовників, ні експлуатаційників.

Так, ракетний старт реалізують державні космічні агентства і приватні компанії (здебільшого американські): програми Американського космічного агентства НАСА (ракет типу Атлас, Сатурн, Дельта, програма Space Shuttle), Європейського космічного агентства ESA (ракет типу Вега, Скаут, Ariane, експериментальний багаторазовий корабель IXV – Intermediate eXperimental Vehicle), Російської державної корпорації «Роскосмос» (ракет типу Союз, Протон, Рокот, Ангара, проект «Буря»), Українського Державного космічного агентства (ракет типу Zenit, Дніпро, Циклон), Японського агентства аерокосмічних досліджень JAXA (демонстратор ракети багаторазового використання RVT), а також американські приватні компанії Boeing (космічний демонстратор технологій літакового типу X-37B, який запускався ракетою-носієм Atlas V і Falcon 9), SpaceX (ракет серії Falcon), Rocket Lab (двоступенева надлегка ракета-носії Electron), Orbital ATK (ракет-носії Мінотавр і Антарес), Sierra Nevada (космоплан

Dream Chaser, який буде виводитися на орбіту новою ракетою Vulcan).

Постановка завдання. Нині проблема зменшення вартості виведення вантажів на орбіту Землі залишається актуальною. За допомогою «ракетного старту» не вдасться задовольнити деякі принципові вимоги замовників, а саме виконати не менше 10 польотів за 10 днів при вартості кожного рейсу не більше 5 млн доларів США (це приблизно в 10 разів дешевше ціни на запуск за допомогою класичних ракет-носіїв).

Дослідження шляхів здешевлення космічної діяльності з виведення корисного навантаження на орбіту Землі було розпочато у 70-80-х роках минулого століття. У різних країнах проводяться інтенсивні пошуки оптимальних космічних транспортних систем, які б не мали недоліків систем ракетного старту та зберігали їх найкращі якості. Такими системами можуть стати повністю багаторазові авіаційно-космічні транспортні засоби нового покоління. Нині прискорюється розробка та введення в експлуатацію таких систем і вони вже почали займати своє місце в галузі космічної індустрії. Авіаційно-космічні транспортні системи інтегрують у собі вже існуючі та перспективні технології (авіаційно-космічні, гіперзвукові, ракетні), використовують відпрацьовані конструкторські рішення, нові матеріали, а також величезний комерційний і експлуатаційний досвід авіації.

Першим успішним прикладом авіаційно-космічної системи є успішна і багаторічна експлуатація в США (з 1990 року запущено 43 ракети) частково багаторазової авіаційно-космічної системи легкого класу «Пегас» [4; 5]. Протягом останніх 55 років у світі було розроблено низку проектів авіаційно-космічних систем «повітряного старту» для виведення вантажів на орбіту: багаторазові авіаційно-космічні системи на основі транспортного літака Ан-124 «Руслан» (Україна) («Оріль», «Interium Hotol»); багаторазові авіаційно-космічні системи на основі транспортного літака Ан-225 «Мрія» (Україна) («Макс», «Світязь», «Макс-Т» і літаючий космодром «Макс-ТК»); авіаційно-космічні системи на основі висотного літака М-55 «Геофізика» та літака-транспортника ЗМ-Т (Росія). Розробка авіаційно-космічного комплексу «Бурлак-Діана» на базі літака-носія Ту-160 (Росія) дійшла до стадії льотних випробувань, але була припинена через відсутність коштів у 1997 році (це європейський проект авіаційно-космічної системи «Hotol») [4; 6].

Нині принцип «повітряного старту» реалізується в авіаційно-ракетних системах американ-

ської приватної корпорації Virgin Group. Компанія Virgin Galactic з 2019 року проводить льотні випробування авіаційно-космічної системи на основі двофюзеляжного літака-розгонщика (космоплану) WhiteKnightTwo із суборбітальним кораблем багаторазового використання класу SpaceShipTwo, а компанія Virgin Orbit з 2019 року приступила до розробки ракети Launcher One для повітряного старту з літака Boeing-747 [7; 8].

Принципово важливим для всіх систем «повітряного старту» є суттєве зниження загальної вартості системи (розробка, виробництво, життєвий цикл), вартості пуску та питомої вартості виведення корисного навантаження. При цьому реалізується багаторазовість застосування елементів авіаційно-космічної системи при збереженні високої надійності, безпеки польотів та екологічності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Суттєвою проблемою створення повністю багаторазової авіаційно-космічної системи є високі технічні ризики, які здебільшого пов'язані з недостатнім досвідом створення таких систем. Тому при розробці концептуальних пропозицій по створенню в Україні повністю багаторазової авіаційно-космічної системи легкого класу використовувалися результати досліджень аналогічних перспективних систем США, Європи та Японії [9–11] і системний підхід до планування космічної діяльності, продемонстрований у [12; 13]. Міжнародний досвід стосується розробки багаторазових авіаційно-космічних систем, які призначені для виведення на низькі навколоземні орбіти корисного вантажу вагою більше 2000 кг. Такий досвід може бути використаний лише частково, тому за основу були взяті основні результати і висновки міжнародних досліджень.

Загалом були прийняті основні концептуальні положення щодо характеристик багаторазової авіаційно-космічної транспортної системи (далі – БТКС). БТКС повинна бути трьохступеневою і складатися із:

- літака-носія Ан-124-100 «Руслан» (радіус точки пуску від авіабази – 3000 км; максимальна злітна маса – 392 т);
 - повітряно-космічного літака (далі – ПКС) із двома гіперзвуковими прямоточними повітряно-реактивними двигунами (максимальна злітна маса – 35 т; максимальна вантажопідйомність – 1 т);
 - ракетного розгінного блоку (далі – РРБ) (максимальна тяга – 5 т);
 - наземного комплексу типу «Авіабаза».
- Загальний вигляд системи показано на рис. 1.

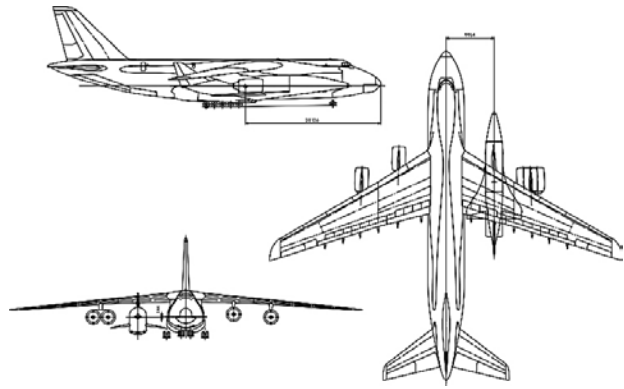


Рис. 1. Загальний вигляд БТКС

Загальні льотно-технічні характеристики представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Льотно-технічні характеристики БТКС

Максимальна злітна маса БТКС, тс	до 392
Максимальна маса ПКС, тс	до 35
Параметри польоту в точці старту ПКС:	
висота польоту, м	> 9500
швидкість польоту, км/г	> 750
кут нахилу траєкторії	> 20
Максимальні параметри польоту ПКС:	
висота польоту, км	> 90
швидкість польоту, число М	15-20
Параметри РРБ:	
максимальна маса, тс	5
висота польоту, км	> 300

Літак-носії Ан-124-100. В якості літака-носія використовується базовий сертифікований літак Ан-124-100. На спеціальному пілоні літака-носія замість правого внутрішнього двигуна здійснюється установка і кріплення безпілотного повітряно-космічного літака. Літак-носії злітає з аеродрому базування, в польоті запускає повітряно-космічний літак і повертається на авіабазу без проміжних посадок. Льотно-технічні характеристики літака Ан-124-100 подані в табл. 2.

Всередині фюзеляжу (у кабіні верхньої палуби) розташовується устаткування бортового стартowego комплексу, який забезпечує:

- підготовку, контроль стану і пуск повітряно-космічного літака;
- керування польотом повітряно-космічного літака і його поверненням;
- розділення із розгінним ракетним блоком і керування його польотом;
- розділення розгінного ракетного блоку з корисним навантаженням.

Існує досить великий досвід використання літака Ан-124-100 для вирішення подібних завдань, визначені його льотно-технічні характеристики на різних режимах польоту, відпрацьовано комплекс питань його наземного базування.

Можливості MRATS щодо збільшення маси корисного навантаження та забезпечення різноманіття нахилення орбіт супутників значно розширюються, якщо в якості літака-носія використати базовий літак Ан-225 «Мрія» (після його сертифікації).

Повітряно-космічний літак. Загальні льотно-технічні характеристики повітряно-космічного літака подані в табл. 3

Таблиця 2

Льотно-технічні характеристики літака Ан-124-100

Радіус точки пуску від авіабази, км	3000
Максимальна злітна маса, т	392
Максимальна вантажопідйомність, т	150
Максимальний запас палива, т	205
Двигуни: тип	Д-18Т
кіл * тяга, кН	3*234.3
Висота крейсерського польоту, м	9000-12 000
Швидкість крейсерського польоту, км/г	750-800
Потрібна довжина ЗПС для зльоту, м	3800
Розмах крила, м	73 300
Площа крила, м ²	628.5
Довжина літака, м	68 100

Таблиця 3

Загальні характеристики повітряно-космічного літака

Максимальна злітна маса, т	35
Двигуни: тип	Supersonic Combustion RAMJET
кільк. * тяга, кгс	2*16 600
Максимальний запас палива, т	27,0
Максимальна вантажопідйомність, т	1,0
Довжина літака, м	35,2
Розмах крил, м	11
Стріловидність крила, градуси (передня кромка)	33
Площа крила, м ²	72
Відносна товщина крила (корінева, кінцева), %	7 3
Площа киля, м ²	22,5
Висота киля, м	5,0
Стріловидність киля, град (передня кромка)	55
Довжина фюзеляжу, м	35
Відносне подовження передньої частини фюзеляжу	3,0
Відносне подовження задньої частини фюзеляжу	2,4

Мідель фюзеляжу, м ²	17,8
База шасі, м	20
Колія шасі, м	8
Висота пуску, км	9-12
Швидкість польоту, км/сек	0,02-4
Посадкова швидкість, м/сек	до 90
Потрібна довжина ЗПС для посадки, м	3500
Ширина смуги для розвороту на 180°, м	40

У вантажному відсіку літака довжиною ~ 10 м і діаметром ~ 3 м розташовується ракетний розгінний блок з корисним навантаженням ~ 1000 кг. У такі габарити вписуються практично всі сучасні комерційні космічні апарати вагою до ~ 1000 кг. Повітряно-космічний літак придатний для короточасного функціонування в якості космічної платформи для розміщення випробувальних стендів, дослідних і експериментальних лабораторій, апаратури спостереження та дистанційного зондування Землі та іншого.

Ракетний розгінний блок. Третім ступенем багаторазової авіаційно-космічної системи є ракетний розгінний блок на базі двигунної установки 11Д25 ракети-носія «Циклон». Основні технічні характеристики блоку подані в табл. 4.

Таблиця 4

Технічні характеристики блоку

Максимальна тяга, т	5
Тип двигуна	11Д25
Кількість *	1*
Максимальний запас палива, т	3,3
Максимальна вантажопідйомність, т	1,0
Довжина блоку, м	10,0
Діаметр, м	2,5

Енергетика силової установки ракетного розгінного блоку розрахована таким чином, щоб здійснювати довиведення корисного вантажу вагою до 1000 кг на полярну кругову орбіту висотою до 1000 км.

Склад і основні характеристики бортового інформаційно-управляючого комплексу БТКС

Інформаційно-управляючий комплекс має бути інтегрованим. Він повинен об'єднувати основні системи БТКС: бортову цифрову обчислювальну систему, систему управління рухом і навігацією, систему управління бортовим комплексом, бортовий радіотехнічний комплекс, систему бортових вимірювань, а також програмного забезпечення в єдиний бортовий комплекс управління. При цьому такі задачі навігації [14–20] та управління рухом [21–24] БТКС повинні вирішуватися з високою точністю:

– визначення поточних навігаційних параметрів руху літака-носія, повітряно-космічного

літака і корисного навантаження (супутників) із потрібною точністю і частотою надходження;

– резервування інформаційних систем для забезпечення високого рівня надійності бортового інформаційно-управляючого комплексу;

– аналітичне обґрунтування оптимальної програми для зміни тяги двигунів літака-носія і повітряно-космічного літака;

– обчислення оптимальної програми для зміни кута атаки, фазових координат і часу відділення повітряно-космічного літака;

– обчислення оптимальної програми для зміни кута атаки, фазових координат і часу відділення корисного навантаження (супутників);

– забезпечення групового запуску супутників і розведення їх по низьких орбітах Землі;

– забезпечення організації управління угрупованням (кластером) супутників.

Висновки. Реалізація запропонованих вище концептуальних пропозицій по створенню багаторазової авіаційно-космічної транспортної системи не тільки відкриє нові перспективи в авіаційно-космічній індустрії, а й вирішить складні технічні проблеми у багатьох галузях науки і техніки, в тому числі в галузі аеротермодинаміки, конструкції двигунів, матеріалів, літакових систем, бортових інформаційно-управляючих комплексів і наземного обладнання.

Список літератури:

1. List of private spaceflight companies // Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_private_spaceflight_companies (date of access to the site: 10.08.2020).
2. Falcon 9 – First Orbital Class Rocket Capable of Reflight and Dragon. Sending Humans and Cargo into Space // Official website of the company SpaceX. URL: <https://www.spacex.com/vehicles> (date of access to the site: 11.08.2020).
3. Starlink. High Speed Internet Access Across the Globe // Official site of the Starlink project. URL: <https://www.starlink.com/> (date of access to the site: 10.08.2020).
4. Лукашевич В.П., Афанасьев И.Б. Космические крылья. М. : Изд. «Лента Странствий», 2009. 496 с. (in Russian).
5. Гусынин В.П. Авиационно-космическая система «Пегас». Обзор по материалам открытой зарубежной печати за 1988-1996 гг. Проект “Pegasus” // Космічна наука і технологія. Том 4, № 1, 1998. С. 113–119 (in Russian).
6. Программа ВКС «Хотол» // Новости зарубежной науки и техники. Серия: Авиационная и ракетная техника. № 8, 1989. С. 19–33.
7. XS-1. Phase B: DARPA’s new space plane looks skyward // Aerospace site Airforce-Technology. URL: <https://www.airforce-technology.com/features/featurexs-1-phase-b-darpas-new-space-plane-looks-skyward-4809183/> (date of access to the site: 11.08.2020).
8. В США свернули разработку космолана XS-1 // Информационное агентство REGNUM. URL: <https://regnum.ru/news/it/2839520.html> (in Russian, date of access to the site: 10.08.2020).
9. Работы по перспективной МТКС RLV // ЭИ. Ракетная и космическая техника. 1996, № 23. С. 2–12.
10. Перспективы применения ВКС в Великобритании в 21 веке // Новости зарубежной науки и техники. Серия: Авиационная и ракетная техника. № 14, 1992. С. 8–12.
11. Исследования концепций ВКС в Японии // Новости зарубежной науки и техники. Серия: Авиационная и ракетная техника. № 15, 1990. С. 19–27.
12. Белоусов Д.Р. и другие. Перспективы развития частной космонавтики в России // Аналитический отчет. Автономная некоммерческая организация «Аналитический центр «АЭРОНЕТ», М., 2019, 130 с. (in Russian, date of access to the site: 10.08.2020).
13. Лукьяненко В.И., Цыбульский Г.А., Титаренко А.Н. Анализ задач и проектов создания авиационных ракетно-космических систем выведения космических аппаратов легкого класса // Ракетно-космическая техника. Серия XV, Вып. 2. Системные исследования в проектировании и обработке комплексов. М. : Изд-во ЦНИИМАШ, 1995. С. 68–85.
14. Микрин Е.А. Бортовые комплексы управления космических аппаратов : учебное пособие. М. : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 245 с.
15. Zakharin F.V., Ponomarenko S.A. Concept of Navigation System Design of UAV // IEEE 3-rd International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD). Proceedings. Kyiv, 2015, 13-15 october. P. 261–264.
16. Zakharin F.M., Ponomarenko S.A. On a scheme integration of inertial primary information sensors with on-board navigation correctors aircraft // IEEE 4-rd International Conference “Methods and systems navigation and movement control”, Proceedings. Kyiv, 2016, 18-20 October, Kyiv : National aviation university. P. 63–68.
17. Zakharin F., Ponomarenko S. Method of the Autonomous Initial Alignment of Strapdown Inertial Navigation Systems with Preliminary Autocalibration of Inertial Sensors for Unmanned Aerial Vehicles // IEEE

5-rd International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD-2019). Proceedings. Kyiv, Ukraine. 2019, 22-24 October. P. 265–291.

18. Ponomarenko S., Lysenko A., Tachinina O. Implementation of the CLEAN SPACE Concept Using Suborbital Spaceflights // Next-Generation Suborbital Researchers Conference, Broomfield, Colorado, USA, March 2-4, 2020. URL: <https://www.boulder.swri.edu/NSRC2020/Site5/Authors.html>.

19. Sushchenko O.A. “Features of control by two-axis gimballed attitude and heading reference system” in Proceedings of IEEE 3rd International conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC-2014), October 14-16, 2014, Kyiv, Ukraine, p. 190–193.

20. O.A. Sushchenko. “Optimal synthesis of electronic system for gyroscopic nautical compass stabilization” in Proceedings of IEEE 33rd International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2013), April 16-19, 2013, Kyiv, Ukraine, p. 436–439.

21. O.M. Tachinina, O.I. Lysenko, I.V. Alekseeva. “Algorithm for Operational Optimization of Two-Stage Hypersonic Unmanned Aerial Vehicle Branching Path” // 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC Kyiv, Ukraine, October, 16-18, 2018). K. : NAU, 2018, p. 11–15, doi: 10.1109/MSNMC.2018.8576319.

22. O.I. Лисенко, І.В. Чеканова, В.П. Гусинін, І.І. Сердюк, В.В. Жуков. Підходи до створення національної авіаційно-космічної системи легкого класу // Адаптивні системи автоматичного управління / Міжвідомчий науко-технічний збірник. Дніпропетровськ : Системні технології, 2001. Вип. 4(24). С. 39–44.

23. Valery Romaniuk, Olexandr Lysenko, Anton Romaniuk, Olexandr Zhuk. Increasing the Efficiency of Data Gathering in Clustered Wireless Sensor Networks Using UAV // Information and telecommunication sciences. Volume 11, Number 1. January-June 2020. P. 102–107.

24. Olexandr Lysenko, Miroslav Sparavalo, Olena Tachinina, Valerii Yavisya, Sergiy Ponomarenko. Feasibility Reasoning of Creating Ultra-Low Orbit Communication Systems Based on Small Satellites and Method of Their Orbits Designing // Information and Telecommunication Sciences, 2020, Volume 11, Number 1, January-June 2020, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. P. 59–70. URL: <http://infotelesc.kpi.ua/article/view/206620/206546>.

Ponomarenko S.O., Tachynina O.M., Lysenko O.I., Kyselov V.B., Huida O.H. MODEL OF THE NATIONAL AEROSPACE SYSTEM OF DEVELOPMENT OF THE GLOBAL SENSOR NETWORK

The paper considered the development model of the national aerospace system global sensor network deployment. The main essence of the problem is to choose a space system that will satisfy customers and operators in full in terms of its technical and economic indicators. The main types of space transport systems and the implementation of various principles of launching payloads into Earth orbit – “rocket launch” and “air launch” are analyzed. The peculiarities of the development of the public and private sectors of the space industry are shown.

The problem of reducing the cost of launching cargo into Earth orbit remains relevant. With the help of “rocket launch” it is not possible to satisfy some basic requirements of customers, namely – to perform at least 10 flights in 10 days at the cost of each flight no more than 5 million US dollars (this is about 10 times cheaper than the currently launched launch price with the help of classic launch vehicles). In recent years, there has been an intensification of research by leading space powers in the field of creating promising reusable aerospace transport systems. This is mainly due to the commercialization of the space industry, which has become a steady trend around the world.

Modern requirements to the reusable aerospace transport system are considered. Fundamentally important for all “air launch” systems is a significant reduction in the total cost of the system (development, production, life cycle), the cost of start-up and the specific cost of output payload. At the same time, the reusability of the elements of the aerospace system is realized while maintaining high reliability, flight safety and environmental friendliness.

The main conceptual provisions on the composition, general appearance and basic flight technical characteristics of the reusable aerospace transport system and the main characteristics of its onboard information and control complex are proposed. Implementation of the proposed conceptual proposals for the creation of a reusable aerospace transport system not only opens new perspectives in the aerospace industry, but also solves complex technical problems in many fields of science and technology, including aerothermodynamics, design, engines, materials, aircraft systems, onboard information and control systems and ground equipment.

Key words: *rocket launch, air launch, reusable aerospace transport system, private space, flight technical characteristics, information and control complex. (date of access to the site: 10.08.2020).*

УДК 620.9;662.939.9
DOI

Топал О.І.

Інститут вугільних енерготехнологій Національної академії наук України

Любарець М.І.

Інститут вугільних енерготехнологій Національної академії наук України

Прищепов Є.О.

Інститут вугільних енерготехнологій Національної академії наук України,
Дочірнє підприємство «Вуглесинтезгаз України»

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ОБЛІКУ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ: СКЛАДНИКИ, ТЕХНОЛОГІЇ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ

Широке впровадження обліку енергоресурсів на основі інтелектуальних систем (smart metering або ICO-систем) можливе лише шляхом створення та розвитку належної розвинутої вимірювальної інфраструктури (РВІ або advanced measuring infrastructure), яка об'єднує у собі апаратно-програмні засоби (лічильники, засоби дистанційного передавання даних (далі – ЗДПД), базові станції / концентратори / шлюзи; мережі стільникового зв'язку чи/та новостворені радіомережі; комп'ютерні мережі; програмні платформи) та відповідні засади функціонування її підсистем (регламенти; протоколи телеметрії, протоколи прикладного рівня обробки даних; стандарти прикладного, каналного та фізичного доступу тощо).

Втілення ICO-систем дозволить забезпечити щодобовий автоматизований облік споживання енергоресурсу (наприклад, природного газу) чи електроенергії, сприятиме зменшенню витрат і виробничо-технологічних витрат, підвищить дисципліну платежів споживачами, скоротить витрати на неефективний ручний облік, сприятиме подальшому впровадженню заходів з економії енергоресурсів за рахунок поглибленого аналізу його споживання населенням.

Надзвичайно перспективними методами передавання даних в ICO-системах є методи дистанційного передавання показників споживання енергоресурсу від ЗДПД до внутрішньої мережі операторів стільникового зв'язку (чи іншої подібної радіомережі) з їх подальшим передаванням у розгалужену IP-мережу інтернет-провайдерів (інтернет-мережу загального доступу) і серверних платформ (Cloud-based platform). При цьому можуть використовуватися як існуючі, так і перспективні радіотехнології (GSM/GPRS, NB IoT, LoRa WAN та інші). Нині дистанційне передавання даних телеметрії набуває значного поширення у світі, в тому числі завдяки розвиненню технології Інтернету речей.

Створення сучасної розвинутої вимірювальної інфраструктури є складною проблемою та потребує об'єднання в єдиному комплексі РВІ різних складників і структурних елементів. Метою статті є визначення істотних особливостей кожного складника РВІ, аналіз особливостей застосування апаратних засобів і радіотехнологій, інтернет-технологій (платформ), що має становити єдиний вимірювальний комплекс. У статті також наведені рекомендації щодо впровадження систем smart-метрингу для обліку енергоресурсів в Україні.

Ключові слова: енергоресурси, облік, smart-метринг, Інтернет речей, радіотехнології.

Постановка проблеми. До базових складників РВІ, призначених для обліку газу у побутових споживачів на основі інтелектуальних систем обліку, належать газові лічильники; засоби дистанційного передавання даних (далі – ЗДПД або спеціалізовані модеми), які приєднуються до газових лічильників та/або smart-лічильників із вбудованими ЗДПД; радіомережі різних типів (зокрема, стільникового зв'язку) чи/та інші мережі для дистанційного передавання даних; внутрішні мережі

операторів зв'язку (стільникового, LoRa WAN); мережі загального інтернет-доступу, зокрема на основі Low Power WAN підходів; програмні інтернет-платформи (здебільшого хмарні Cloud IoT-платформи) для приєднання ЗДПД і безпосереднього обліку спожитих енергоресурсів (газу); білінгові системи для фінансового обліку; функціональні протоколи різних рівнів: фізичного, каналного (стандарти радіозв'язку GSM/GPRS, NB IoT, LoRa WAN та інші), транспортного,

прикладного (телеметрії, наприклад DLMS/COSEM) і протоколи обробки масових запитів (MQTT, CoAP). Створення сучасної розвинутої вимірювальної інфраструктури є складною проблемою і потребує об'єднання у цілісному комплексі РВІ різних складників і структурних елементів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За даними проведеного аналізу [1–11], функціональну блок-схему розвинутої вимірювальної інфраструктури (РВІ або advanced measuring infrastructure) для обліку газу на основі інтелектуальних систем (smart metering) можна навести у такому вигляді (рис. 1).

Деталізацію можливих методів (протоколи, стандарти) функціонування такої системи у наближенні моделі OSI наведено на рис. 2.

Так, система має базуватися на взаємоузгодженій роботі різних підсистем, які об'єднують у собі апаратно-програмні засоби (лічильники, ЗДПД, базові станції / концентратори / шлюзи; мережі стільникового зв'язку чи/та новостворені радіомережі; комп'ютерні мережі; програмні платформи) та відповідні засади функціонування її підсистем (регламенти; протоколи телеметрії, протоколи прикладного рівня обробки даних; стандарти

прикладного, каналного та фізичного доступу). Визначення оптимального складу такої системи для впровадження є складним завданням, яке потребує розгляду недоліків / переваг складників системи, аналізу технічних і вартісних показників електронних компонентів, вивчення особливостей технологій радіозв'язку та умов їх використання в Україні.

Постановка завдання. Метою роботи є верхньорівневий аналіз істотних особливостей кожного складника РВІ/ІСО-системи як такої, що становить цілісний вимірювальний комплекс, у тому числі й аналіз нормативного регулювання ІСО-систем, вивчення особливостей застосування апаратних засобів, радіотехнологій, інтернет-технологій (платформ). Завданнями роботи також були вибір елементної бази ЗДПД, попередня розробка макетів ЗДПД та електронної веб-платформи, здатної до приймання та обробки даних щодо спожитого енергоресурсу (природного газу). Результати роботи містять рекомендації із впровадження систем smart-метрингу для обліку енергоресурсів (природного газу) в Україні.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розгляд інтелектуальних систем обліку проводився



Рис. 1. Типова функціональна блок-схема розвинутої вимірювальної інфраструктури (AMI) обліку енергоресурсів на основі ІСО-системи передавання даних телеметрії від газових лічильників

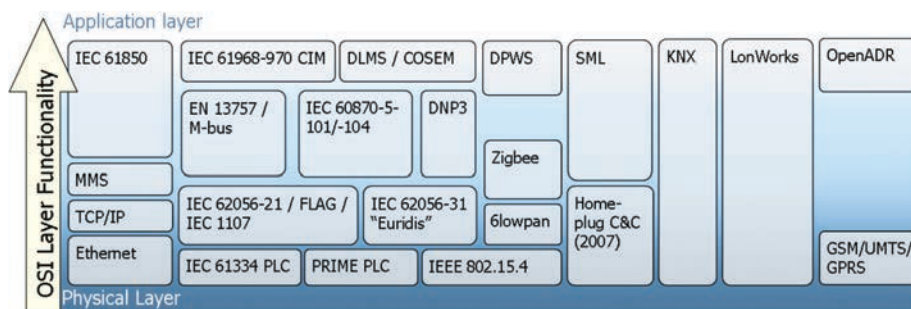


Рис. 2. Можливі стандарти та протоколи у моделі OSI [1]

на прикладі обліку споживання природного газу для побутових споживачів. За результатами проведеного аналізу чинників, які впливають на впровадження ІСО-систем в Україні, можна зазначити таке.

Нормативне регулювання. Впровадження інтелектуальних систем обліку газу у вигляді смарт-лічильників і програмного забезпечення (платформ) постійно розширюється у розвинутих країнах світу: ЄС, Великобританія, США, КНР. Цей процес здійснюється провідними енергетичними компаніями: British Gas, EDF, Dual Energy, E-On, OVO Energy, GoldCard та іншими.

Масштабне встановлення інтелектуальних систем обліку (за даними інформаційної довідки «Законодавче регулювання процесу встановлення розумних лічильників (smart meter) у країнах ЄС») розпочалося ще у 2000-х роках. Італія в інтересах власної енергетичної безпеки започаткувала процес встановлення розумних лічильників у 2001 році; Швеція – у 2003 році, Фінляндія – у 2007 році.

У багатьох країнах ЄС функціональні вимоги до інтелектуальних систем обліку закріплені законодавчо, зокрема в Австрії, Великобританії, Ірландії та Нідерландах, де встановлення розумних лічильників вже відбувається. Рішення міністерств про встановлення смарт-лічильників прийнято в Данії та Німеччині (у випадку Німеччини – тільки для окремих споживачів електроенергії). В Люксембурзі та на Мальті програма встановлення інтелектуальних систем обліку реалізується, але поки що законодавчо не регулюється. У Греції, Естонії, Румунії, Франції, Латвії, Словаччині рішення про встановлення смарт-лічильників прийнято, але процес встановлення розглядається на рівні аналізу чи пілотних програм (у випадку Латвії та Словаччини буде відбуватися селективне встановлення лічильників).

На законодавчому рівні регулювання встановлення смарт-лічильників пов'язане із такими *Директивами ЄС:*

1. *Директива з енергоефективності 2012/27/EU.* Відповідно до статті 9 обов'язком країн-членів ЄС є надання доступу кінцевим споживачам енергії до енергетичного аудиту, придбання за конкурентними цінами індивідуальних лічильників, які надають інформацію стосовно кількості спожитої енергії та часу користування енергією (розумні лічильники). Держави-члени зобов'язані вживати заходів щодо заохочення і забезпечення ефективного використання енергії малими споживачами, в тому числі домашніми господарствами.

2. *Директиви з Електроенергетики 2009/72/ЄС та з Газу 2009/73/ЄС* зобов'язують країн-чле-

нів забезпечити впровадження розумних систем обліку, які повинні сприяти зростанню активності споживачів на ринку електропостачання.

3. *Директива з Вимірювального обладнання 2004/22/ЄС* встановлює вимоги, яким мають відповідати розумні лічильники як вимірювальні прилади з метою використання у ЄС. Відповідно до *Третього Енергетичного Пакету* держави-члени ЄС зобов'язані забезпечити впровадження інтелектуальних (розумних) систем обліку для довгострокової вигоди споживачів.

Серед країн ЄС системи smart metering (інтелектуальні системи обліку) і смарт-лічильники поступово втілюються разом із додатковими енергосервісними послугами на їх основі. Значних успіхів у впровадженні ІСО-систем здобула Великобританія, де нині вже встановлено понад 11,0 млн смарт-лічильників (газ та електроенергія), а до кінця 2021 року планується встановити ще 53 млн одиниць. Споживачі вказаних послуг мають можливість контролювати поточне споживання енергоресурсів (газу та електроенергії) в реальному часі (за допомогою інформ-дисплеїв / In-Home-Display) та корегувати свою поведінку у бік заощадження енергоресурсів, що було доведено під час кількарічних досліджень.

Нині в Україні відповідно до Кодексу газорозподільних систем (далі – ГРМ) встановлення систем дистанційного обліку газу є обов'язковим для певних категорій споживачів. Має сприяти розвитку всіх галузей економіки прийнята «Концепція розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки», схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 січня 2018 року № 67-р. Водночас в Україні нормативне регулювання впровадження ІСО-систем потребує подальшого розвитку та удосконалення і нині вважається стримуючим фактором широкого втілення таких систем.

Вибір інтернет-мереж і радіотехнологій.

Вважається, що бездротове підключення кінцевих пристроїв, зокрема для телеметрії, в рамках концепції Інтернету речей (IoT-речей або nodes / motes вузлів), розповсюджених на значній території, насамперед буде здійснюватися із застосуванням мереж з низьким енергоспоживанням (Low Power Wide Area Network, LPWAN).

На відміну від класичних мереж стільникового зв'язку, LPWAN-мережі спеціально розроблялися, враховуючи концепцію Інтернету речей, і забезпечували такі важливі для цього застосування характеристики: низька вартість обладнання самої мережі (або низька вартість переоснащення

уже існуючої); низька вартість мікросхем для кінцевих пристроїв; мале енергоспоживання, тривалий час автономної роботи кінцевих пристроїв від елементів живлення (до 10 років).

Для розбудови LPWAN-мереж уже розроблено багато бездротових технологій (стандартів) з'єднання, серед яких можна згадати LoRa (Long Range WAN), NB-IoT (Narrow Band IoT), Sigfox та інші. Варто зауважити, що альянсом 3GPP, який забезпечує стандартизацію протоколів на ринку стільникового зв'язку (GSM, GPRS), передбачається підтримка таких перспективних радіотехнологій (фактично їх стандартизація) для Інтернету речей [1, 4]: 1) eMTC (LTE for Machine-Type Communications (LTE-M)); 2) NB IoT (Narrowband Internet of Things); 3) EC-GSM-IoT (Extended Coverage GSM Internet of Things).

Особливості технологій радіозв'язку та організації енергоощадних режимів роботи пристроїв, які їх використовують

Технологію NB-IoT [5–8] можна розглядати як рух телекомунікаційних операторів стільникового зв'язку до Інтернету речей. Головною організацією зі стандартизації у сфері телекомунікації (3GPP) було розроблено низку стандартів у цьому напрямі: у 2012 році у стандарті Release 11 з'явилися функції для машинних комунікацій (Machine Type Communications, MTC). У Release 12 (2015 року) для MTC визначений так званий пристрій Категорії 0 (Category 0) з однією антеною та іншими спрощеннями. У специфікаціях Release 13 (2016 рік) були здійснені подальші кроки для підтримки впровадження IoT, в тому числі заходи зі зниження вартості пристроїв, розширення покриття та збільшення часу автономної роботи. Зокрема, визначена Категорія M1 (для її позначення також використовується абревіатура eMTC і LTE-M).

Для зниження енергоспоживання поряд із технологією Power Saving Mode (PSM), яка була визначена й для категорій 0 та 1, передбачаються механізми Extended Discontinuous Reception (Extended DRX, eDRX). Вказані технології дозволяють знизити частоту обміну обов'язковими службовими повідомленнями, оптимізувати інтер-

вали прийому та отримання інформації, а також підтримувати тривалі періоди «мовчання» (коли пристрій залишається під'єднаним до мережі, не передаючи та не отримуючи інформації).

В Україні для NB-IoT можуть використовуватися практично всі ті ж діапазони частот, що й для 2G/3G/4G у «низьких» band-діапазонах частот: B20 (800 МГц), B8 (900 МГц), B3 (1800 МГц). Більш «високі» частоти використовувати немає сенсу у зв'язку зі значним згасанням сигналу. Варто зауважити, що чим менша обрана частота, тим більше покриття. Можливі варіанти використання частотного ресурсу для NB-IoT наведені на рис. 3.

Телекомунікаційні оператори, які вже використовують технології / частоти GSM 900 МГц, мають можливість переоснащення та впровадження NB IoT. Аналогічною є ситуацій й щодо LTE 800 МГц. Використання частот 1800 МГц також прийнятне з огляду на значне поширення цього діапазону частот серед телекомунікаційних операторів та мереж LTE у світі.

Технологія LoRa була представлена на початку 2015 року фірмою Semtech і дослідницьким центром IBM Research. Вона базується на методі модуляції LoRa, який запатентований компанією Semtech, а також відкритому мережевому протоколу Long Range Wide Area Networks (LoRa WAN). Модуляція LoRa базується на технології розширення спектру (Spread Spectrum Modulation) та варіації лінійної частотної модуляції (Chirp Spread Spectrum, CSS). Таке рішення забезпечує високу стійкість зв'язку на великих відстанях. Модуляція LoRa визначає фізичний рівень мережі радіодоступу, яка може мати різну топологію: коміркову (mesh), зірка, «точка-точка» та інші [1; 3].

Розвитком технології LoRaWAN опікується некомерційна організація LoRa Alliance, яка об'єднує такі компанії як IBM, Semtech, Cisco, Actility та інші. У листопаді 2015 року LoRa Alliance представила програму сертифікації для забезпечення гарантованої сумісності обладнання LoRa різних виробників. Радіус дії концентратора (шлюза) в мережі LoRaWAN становить до 20 км, швидкість передавання даних – від 290 біт/с до



Рис. 3. Варіанти реалізації NB-IoT: режими stand-alone (окремий радіочастотний канал / смуга); in-band (внутрішньо-смуговий режим); guard-band (режим реалізації у захисній смузі) [8]

50 Кбіт/с (табл. 2, 4). Задекларована тривалість автономної роботи кінцевого пристрою (при використанні елементу живлення ємністю 2000 мА×год) – 105 місяців, тобто майже дев'ять років.

Використання стандартів і служб GSM/GPRS для передавання даних телеметрії.

У Release 13 в частині подальшого розвитку технології GSM був визначений режим EC-GSM-IoT (або просто EC-GSM). У ньому також використовуються механізми енергозбереження PSM і eDRX. Крім цього, передбачається можливість багаторазового повторення переданої інформації для поліпшення покриття (+20 дБ) порівняно з традиційними системами GSM.

В EC-GSM спрощена система сигналізації (виключена та частина, яка забезпечує спільну роботу з мережами WCDMA/LTE), вдосконалені механізми аутентифікації і забезпечення безпеки з'єднань. При використанні даних шириною 200 кГц (у смузі GSM900 і 1800 МГц) технологія EC-GSM-IoT забезпечує максимальну швидкість 240 кбіт/с і дозволяє обслуговувати до 50 тисяч пристроїв на сектор базової станції. Порівняння основних параметрів різних радіотехнологій, які нині найбільш розповсюджені у світі та використовуються для цілей телеметрії, наведено у табл. 1.

Існуюча та нова компонентна база ЗДПД: недоліки та переваги. Елементна база та методи (стандарти) дистанційного передавання даних, які використовувалися раніше, не були орієнтовані на забезпечення завдань енергоефективного споживання чи тривалої (понад кілька років) роботи кінцевих приладів, оскільки здебільшого передбачалася наявність (доступність) постійного живлення. З огляду на це електронні компоненти споживали значні токи (як у період виходу на зв'язок, так і в режимі очікування). Режими (стандарти) передавання даних не передбачали переведення пристрою у stand-by-режим із надзвичайно низьким рівнем енергоспоживання, який нині реалізується в рамках підходу Інтернету речей і відповідних стандартів радіозв'язку.

Особливості енергоспоживання існуючих радіомодулів. Поточна елементна база передбачає використання порівняно високих струмів і напруг: режим виходу на зв'язок може характеризуватися імпульсним струмом до 2 А та базовим струмом 146-210 мА; модеми потребують живлення в діапазоні 3,4-4,4 В із рекомендованим 4,0 В. Споживання струму в енергоощадних режимах досить значні: сплячий режим (sleep mode) – 0,9-1,5 мА; режим очікування (idle mode) – 12,5 мА

Таблиця 1

Порівняння різних бездротових LPWAN радіотехнологій

	LoRa	SIGFOX	NB-IoT	LTE-M
Модуляція	SS Chirp	UL: BPPSK DL: GFSK	OFDMA	OFDMA
Частота сигналу радіопередавання, МГц	868	868	LTE band (stand-alone, in-band, Guard-band)	LTE band
Необхідність ліцензування	ні	ні	так	так
Стандартизація	LoRa Alliance	ETSI	3GPP	3GPP
Максимальна швидкість передавання даних	До 50 кбіт/с	До 1 кбіт/с	До 200 кбіт/с	До 1 Біт/с
Ширина полоси радіоканалу, кГц	125	100	200	1400
Потужність передавача у пристрої, мВт	25-50	25	до 2000	25
Потужність базової станції (в Україні дозволено до 25)*, мВт	25	2000	до 200	40
Максимальний бюджет зв'язку, Дб	163	166	164	148
Тривалість автономної роботи передавача у пристрої, років	до 10	до 10	до 10	Кілька місяців
Вартість модуля, долл. США	7-10	8-10	Близько 10	20

(на прикладі модуля SIM800С). Крім того, перевірка приладів на їх наявність у мережі може проводитися досить часто, ніж це потрібно порівняно із оптимізованим механізмом. Значні струми в режимах сеансу та неоптимізовані режими ідентифікації в мережі не дають змоги реалізувати тривалу роботу елементу живлення, оскільки добуток (мА*год) фактично визначає необхідну ємність батареї і має бути оптимальним.

Особливості енергоспоживання перспективних радіомодулів (для LP WAN технологій). Сучасна елементна база передбачає використання менших струмів і напруг: режим виходу на зв'язок може характеризуватися меншим імпульсним струмом і меншим робочим струмом у 30-116 мА; модеми потребують меншого живлення в діапазоні 2,1-3,6 В, типово – 3,3 В. Передбачено використання таких енергоощадних режимів: сплячий режим (sleep mode) – 236 мкА; режим очікування (idle mode) – 5,6 мА; режим енергозбереження (PSM – power saving mode) – 3,4 мкА, а також режими eDRX (на прикладі модуля SIM7020). Крім того, перевірка приладів на їх наявність у мережі може програмуватися від кількох секунд до десятків годин без необхідності реєстрації в мережі.

Сучасна елементна база ЗДПД підтримує різні протоколи телеметрії прикладного рівня, які реалізовані апаратно із базовою станцією: MQTT (Message Queue Telemetry Transport), COAP (Constrained Application) та інші.

Загальний підхід до створення схематехнічного рішення ЗДПД для телеметрії енергоресурсів. Основу розроблених принципових електричних схем ЗДПД складають: 1) мікроконтролер, 2) модем, який перебуває під його управлінням, а також допоміжні елементи (рис. 4).

Для тестування принципів роботи взаємодії ЗДПД і веб-платформи була обрана існуюча елементна база, яка у подальшому має бути замінена на більш енергоощадну. Принципова схема розробленого прототипу містить такі елементи: елемент живлення – БАТ 3,6 В-Li-ва батарея великої ємності для тривалої роботи (в макеті батарею імітує блок живлення 3,6 В); FUSE – запобіжник; SIM800С – GSM/GPRS модуль; DC/DC – перетворювач 3,6 В в 4,1 В, які необхідні для функціонування SIM800С (потужність мінімум 8,5 Вт); SWITCH – електронний ключ на р-канальному MOSFET-транзисторі для вимикання одночасно DC/DC і SIM800С; uC – мікроконтролер STM32F103, який на наступному етапі буде замінено на STM32L1xx, що живиться значно меншим струмом; VD – діод Шоткі для електричної

розв'язки та одночасно доведення напруги живлення мікроконтролера до необхідних 3,3В.

Управління модемним модулем здійснюється за допомогою AT-команд. Розроблені ЗДПД пристрої та веб-платформа дали змогу передавати дані телеметрії щодо споживання природного газу у домогосподарстві.

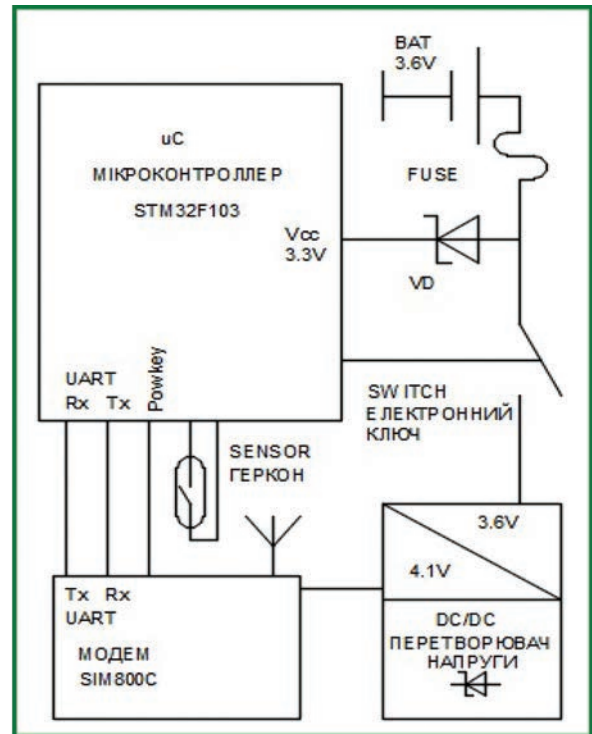


Рис. 4. Принципова схема ЗДПД для тестування клієнт-серверного підходу передавання даних телеметрії щодо спожитого природного газу

Висновки. За результатами виконання роботи можна зробити певні висновки. Так, нині у світі для обліку енергоресурсів поступово переходять до використання засобів дистанційного передавання даних, які базуються на різних видах радіотехнологій: вдосконалені GSM/GPRS, NB IoT, LoRa WAN та інші, які належать до групи так званих LP WAN-технологій або технологій із низьким рівнем енергоспоживання. Істотною особливістю радіотехнологій, які розробляються та плануються до подальшого розповсюдження у цій сфері, є діапазон використовуваних частот і необхідність / відсутність отримання ліцензій на його використання.

Радіотехнології GSM/GPRS та NB IoT потребують ліцензування частот і здебільшого використовуються телекомунікаційними операторами стільникового зв'язку. Технології LoRa WAN та подібні до них використовують неліцензовані діапазони частот. Можна вважати, що радіотехнології GSM/GPRS та NB IoT є більш захищеними з точки зору передавання даних, а також є більш стандартизова-

ними. Технології LoRa WAN та подібні до них розробляються окремими альянсами чи фірмами, що становить певні загрози до їх широкого поширення.

Нині найбільш поширеними та перспективними для використання вважаються технології на основі NB IoT, вдосконаленого GSM/GPRS, на відміну від LoRa WAN. Найбільш перспективною для реалізації ЗДПД для телеметрії енергоресурсів у країнах ЄС є технологія NB IoT. Вважається, що впровадження технології NB IoT найбільш доцільне для смуг частот 900 МГц та 1800 МГц: чим менша радіочастота, тим більший радіус її розповсюдження, що дозволяє охопити більшу територію.

На відміну від технологій NB IoT/(GSM/GPRS), впровадження технології LoRa WAN (та аналогічних до неї) потребує розгортання мережі концентраторів / шлюзів та їх обслуговування. У зв'язку з цим вважається, що найбільш перспективними для реалізації ЗДПД в Україні є технології NB IoT, впровадження яких базуватиметься на розгалужених мережах телекомунікаційних операторів стільникового зв'язку в рамках їх базових станцій без необхідності оновлення апаратної частини (не лише програмної). Діапазони частот, які є можливими для використання, – 1800 МГц, а найбільш прийнятними – 900 МГц.

Особливістю реалізації технології NB IoT в Україні є неврегульованість питання щодо прин-

ципу «технологічної нейтральності», застосування якого передбачає можливість телекомунікаційним оператором використовувати обрану ним на свій розсуд радіотехнологію для діапазону частот, яким він володіє. У разі недотримання цього принципу телекомунікаційний оператор має погоджувати використання радіотехнології (за наявності в оператора дозволу на використання смуги частот 1800 МГц за стандартом GSM може виникнути потреба в узгодженні (покупці) ліцензії на використання технології NB IoT у цій же смузі). Певним обмеженням розповсюдження NB IoT можуть стати значні тарифи телекомунікаційних операторів на обслуговування IoT-пристроїв.

Найбільш перспективним може стати впровадження ЗДПД на основі технології NB IoT (та вдосконаленої GSM/GPRS) на територіях, які покривають вежі телекомунікаційних операторів (у великих містах і населених пунктах). Реалізація технології в пілотних режимах може бути здійснена в режимі Guard-Band у смузі частот 1800 МГц із шириною смуги NB IoT каналу 180 кГц. Впровадження ЗДПД на основі технології LoRa WAN вважається доцільним на територіях, де відсутнє (або ненадійне) покриття існуючої мережі стільникового зв'язку та є необхідним створення нової мережі на основі концентраторів / шлюзів із відповідними витратами на її утримання.

Список літератури:

1. А. Барсков. Сети для IoT: LPWAN. // Журнал сетевых решений. № 11, 2016. URL: <https://www.osp.ru/FileStorage/ARTICLE/>
2. Якушков К.В. Автоматизированные системы коммерческого учета электроэнергии для розничного рынка // Информатизация и системы управления в промышленности (ИСУП). 2009. № 3.
3. Ray P.P. A survey on Internet of Things architectures. Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences. 2016.
4. Philippe Reininger. 3GPP Standards for the Internet-of-Things. Smart Summit Singapore November 2016. Презентація. 2016. 17 с. URL: http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1906-c_iot.
5. NB-IoT and LTE-M: Global Market Status. Буклет асоціації Global mobile Suppliers Association GSA. 2018. 21 с.
6. Jian Hua Wu. CAT-M & NB-IoT Design and Conformance Test. Keysight Technology. Презентація. 2017. 53 с.
7. Evolution from LTE to 5G: Global Market Status. Буклет асоціації Global mobile Suppliers Association GSA. 2018. 19 с.
8. NB-IoT Deployment Guide to Basic Feature set Requirements Version 1.0. Буклет асоціації Global mobile Suppliers Association GSA. 2017. 30 с.
9. SIM800C Hardware Design. Керівництво розробника апаратних схем. 2016 87 с.
10. SIM7000 Hardware Design. V 1.01 Керівництво розробника апаратних схем. 2017. 62 с.

Topal O.I., Liubarets M.I., Pryshchepov Ye.O. SMART METERING TO CONTROL ENERGY RESOURCES CONSUMPTION: KEY COMPONENTS, RADIOTECHNOLOGIES, AND PROSPECTS TO IMPLEMENT IN UKRAINE

A wide implementation of a system to control energy resource consumption based on smart metering can only be done by creating and developing an appropriate advanced measuring infrastructure (AMI) that combines hardware and software (meters, remote transmission, wireless modem, base stations / hubs / gateways; existing cellular networks and/or newly created radio networks; computer networks; software platforms, etc.) and the

relevant principles of its subsystems operation (regulations; telemetry protocols, protocols of applied data processing; standards of application, channel and physical access).

Implementation of smart metering systems will provide daily automated accounting of energy consumption (eg, natural gas) or electricity, will reduce losses and production and technological expenditures, increase the discipline of payments to consumers, reduce the cost of inefficient manual metering, will promote further implementation of energy savings due to in-depth analysis of its consumption by householders.

Highly promising methods of data transmission in smart metering system are ones of remote data transfer sending the readings of energy consumption from wireless modem to the internal network of cellular operators (or other similar radio network) with their subsequent transmission to an IP network of Internet providers (Internet sharing) and further to server platforms (Cloud-based platform). For this reason, it is possible to use existing and promising radio technologies (GSM/GPRS, NB IoT, LoRa WAN and others). At present, remote transmission of telemetry data is becoming widespread in the world, including through the development of Internet of Things technology.

At the same time, the creation of an advanced measuring infrastructure is a complex problem and requires the integration of various components and structural elements into a single complex AMI-solution. In view of the above the objective of the work was to determine the essential features of each component of AMI, to analyze the features of the use of hardware and radio technologies, Internet technologies (e-platforms), which should be a single measuring complex. The article also provides recommendations for the implementation of smart metering systems for energy accounting in Ukraine.

Key words: *energy resources, control, smart metering, IoT, radio technologies.*

УДК 621.372
DOI

Шарапова О.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Костень Т.Б.

Харківський національний університет радіоелектроніки

ПІДСИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ АДРЕСНО-АНАЛОГОВОЮ СИГНАЛІЗАЦІЄЮ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПІДПРИЄМСТВ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ З БАГАТЬМА ВХОДАМИ І БАГАТЬМА ВИХОДАМИ

Останнім часом захист інформації на підприємствах набирає все більшої актуальності. Значно збільшився ріст користувачів і обсягів оброблюваної інформації в рамках інформаційного поля, яке необхідно забезпечити захистом. Досліджено теоретичні питання організації підсистем автоматичного управління адресно-аналоговою сигналізацією для захисту підприємств на базі технології з багатьма входами та багатьма виходами. Розглянуті системи захисту інформації на підприємствах та проблема обробки інформації в них. У зв'язку з тим, що значно зростає попит на автоматичні системи для захисту підприємств з високою швидкістю передачі та рівнем стійкості каналу, актуальність розробки підсистем автоматичного управління адресно-аналоговою сигналізацією для захисту підприємств з використанням систем з багатьма входами і багатьма виходами є актуальним та своєчасним. Розглянута технологія, яка дозволяє вирішити питання охоплення великої кількості інформації без втрати пропускну здатності в мережі і забезпечити належний захист даних – це технологія з багатьма входами і багатьма виходами Multiple Input Multiple Output (MIMO). MIMO – це метод просторового кодування сигналу, що дозволяє збільшити смугу пропускання каналу, за якого для передачі даних використовуються дві та більше антени і така ж кількість антен для прийомів. Автоматизація процесу захисту даних – ключовий процес під час організації повноцінної системи роботи підприємства. Різноманітні підсистеми забезпечення інформаційної безпеки часто погано взаємодіють один з одним, породжуючи конфлікти, де є величезна кількість подій і сповіщень. Однією з найбільших проблем інформаційного суспільства є захист інформації, оскільки дані, що обробляються і накопичуються обчислювальною технікою, стали останнім часом визначати напрям діяльності і багато інших аспектів життя сучасних підприємств. Аналіз і реагування на події інформаційної безпеки припускають значний людський ресурс даної служби, що не завжди можливо і раціонально.

Ключові слова: захист підприємств, інформаційна безпека, канали зв'язку, захист в каналах зв'язку, MIMO.

Постановка проблеми. Останнім часом захист інформації на підприємствах набирає все більшої актуальності. Значно збільшився ріст користувачів і обсягів оброблюваної інформації в рамках інформаційного поля, яке необхідно забезпечити захистом. Однією з технологій, яка дозволяє вирішити питання охоплення великої кількості інформації без втрати пропускну здатності в мережі, є технологія з багатьма входами і багатьма виходами Multiple Input Multiple Output (MIMO). MIMO – це метод [1–3] просторового кодування сигналу, що дозволяє збільшити смугу пропускання каналу, за якого на передавальній стороні використовуються дві чи більше антени і така ж кількість антен для прийомної сторони.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливим етапом під час аналізу підсистем автоматичного

управління сигналізацією для захисту підприємств з MIMO є комп'ютерне та статистичне моделювання втрат на трасі поширення радіохвиль і зміни швидкості передачі інформації в таких каналах. Моделювання різних каналів зв'язку з системами MIMO розглянуті в роботах [2–3], а використання адресно-аналогової сигналізації для захисту підприємств в роботах [3–4].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. У зв'язку з тим, що значно зростає попит на автоматичні системи для захисту підприємств з високою швидкістю передачі та рівнем стійкості каналу, актуальність розробки підсистем автоматичного управління адресно-аналоговою сигналізацією для захисту підприємств з використанням систем з багатьма входами і багатьма виходами є актуальним та своєчасним.

Постановка завдання. Головною метою цієї роботи є дослідження підсистем автоматичного управління адресно-аналоговою сигналізацією для захисту підприємств на базі систем МІМО.

Виклад основного матеріалу. Інформаційна безпека підприємства – це стан захищеності корпоративних даних, за якої забезпечується їх конфіденційність, цілісність, автентичність і доступність. Однією з найбільших проблем інформаційного суспільства є захист інформації, оскільки дані, що обробляються і накопичуються обчислювальною технікою, стали останнім часом визначати напрям діяльності і багато інших аспектів життя сучасних підприємств. За допомогою незаконного володіння інформацією можна здійснювати найрізноманітніші протиправні діяння, наприклад, виробляти незаконний оборот фінансових коштів, отримувати доступ до секретної комерційної інформації. Слід зазначити, що конфіденційна інформація представляє величезний інтерес для конкуруючих фірм. Саме вона стає причиною посягань з боку зловмисників. Багато проблем інформаційної безпеки пов'язані з недооцінкою важливості такої загрози, як конфіденційність інформації. В результаті для підприємства це може обернутися банкрутством. Щоб цього уникнути, використовується обладнання, яке виробляє аналіз електромагнітних випромінювань, одержуваних під час роботи в приміщеннях та на території підприємства [1].

Автоматизація процесу захисту даних – ключовий процес під час організації повноцінної системи роботи підприємства. Різноманітні підсистеми забезпечення інформаційної безпеки часто погано взаємодіють один з одним, породжуючи конфлікти, де є величезна кількість подій і сповіщень. Аналіз і реагування на події інформаційної безпеки припускають значний людський ресурс цієї служби, що не завжди можливо і раціонально. Крім того, істотно ускладнюються управління системою і отримання комплексної інформації про рівень захищеності ключових підсистем. Всі ці аспекти вимагають уніфікованого підходу під час створення і експлуатації системи забезпечення захисту підприємства. У цих умовах важливим стає об'єднання всіх застосовуваних захисних заходів у єдиний, адекватний реальним загрозам і адаптивно керований комплекс, що дозволяє досягати необхідного рівня захисту підприємства з використанням засобів автоматизації та візуалізації інформації, що надається [4].

З одного боку, ми маємо потребу в захищеності підприємства і автоматизації процесів, а з іншого боку, не можемо втрачати швидкість передачі даних та обробки інформації в таких каналах, тому розгля-

даємо канал МІМО як впровадження в підсистеми автоматичного керування сигналізацією для захисту підприємств. Одна з основних ідей, що лежать в основі обробки сигналів просторово-часових бездротових систем МІМО, протягом яких природний розмір даних цифрового зв'язку доповнюється просторовим виміром, властивим використанню безлічі розподілених антен, тобто використання декількох антен, розташованих на різних точках. Відповідно, бездротові системи МІМО можна розглядати як логічне розширення для інтелектуальних антен, які вже багато років використовуються для поліпшення бездротового зв'язку. Перебуваючи між передавачем і приймачем, сигнал може приймати багато шляхів. Крім того, переміщаючи антени навіть на невелику відстань, використовувани доріжки будуть змінюватися. Різноманітність доступних шляхів відбувається в результаті кількості об'єктів, які з'являються з боку або навіть прямим шляхом між передавачем і приймачем. Раніше ці множинні шляхи служили тільки для введення перешкод. З МІМО, ці додаткові шляхи можуть бути використані з користю для забезпечення додаткової надійності радіолінії, шляхом поліпшення відносини сигнал / шум або збільшення пропускної здатності каналу зв'язку [2–3].

Є два основні формати МІМО:

- 1) Просторове рознесення: рознесення передачі і прийому.
- 2) Просторове мультиплексування: ця форма МІМО використовується для забезпечення додаткової ємності даних, методом використання різних шляхів для перенесення додаткового трафіку, тобто збільшення пропускної здатності даних.

Ці дві методології використовуються для поліпшення відносини сигнал / шум, і вони характеризуються поліпшенням надійності системи по відношенню до різних форм завмирання. В результаті використання декількох антен бездротова технологія МІМО здатна значно збільшити пропуску здатність каналу [3]. Канал зв'язку, побудований на базі систем МІМО, представлений на рисунку 1.

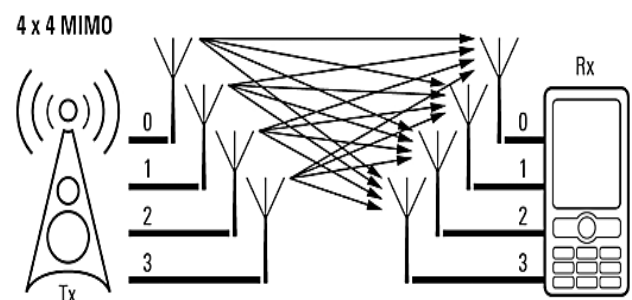


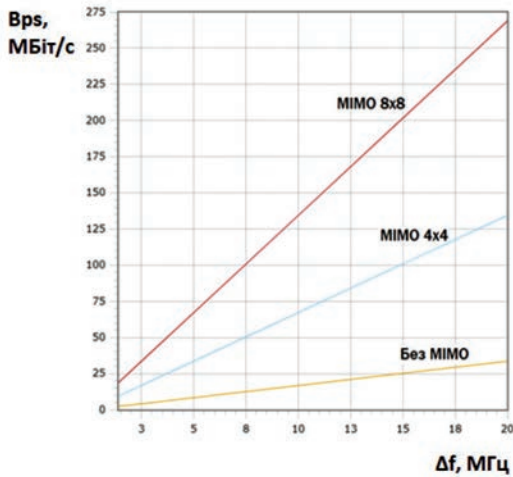
Рис. 1. Канал зв'язку на базі систем МІМО

Поліпшення характеристик швидкості передачі і обробки інформації в каналах зв'язку на базі MIMO систем досягається за рахунок багатoelementних антен, як на передавальній, так і на приймальній стороні. Технологія MIMO дозволяє зменшити ймовірність помилок без зниження швидкості передачі. Важливо підкреслити, що саме технологія MIMO дуже вдало підійшла під активно розвинуту технологію мультиплексування за допомогою ортогональних піднесучих Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) так широко використовуваний в останні роки. Саме зв'язка OFDM-MIMO дозволила отримати на сьогоднішній день зростання високошвидкісних і перешкодозахисних цифрових каналів зв'язку.

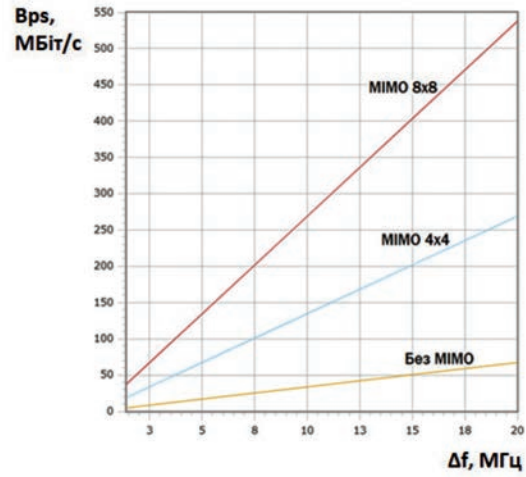
Грунтуючись на теорію аналізу MIMO каналів зв'язку були отримані залежності втрат на трасі поширення залежно від конфігурації антен-

них елементів на передавальній і приймальній стороні цифрового каналу зв'язку. Залежності були отримані для чотирьох типів модуляції – quadrature phase shift keying (QPSK), quadrature amplitude modulation 16, 64, 256 (16QAM, 64QAM, 256QAM) та каналів зв'язку MIMO 4x4 і 8x8, та каналу зв'язку без MIMO (рис. 2).

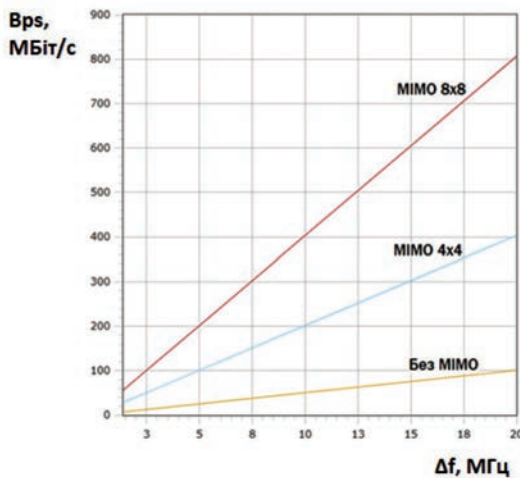
Збільшуючи кількість прийомних і передавальних антен, можна лінійно збільшити пропускну здатність каналу з кожною парою антен, доданих в систему. Це робить бездротову технологію MIMO однією з найважливіших бездротових технологій, яка використовується в останні роки. Оскільки спектральна смуга пропускання стає все більш цінним товаром для систем радіозв'язку, необхідні методи для більш ефективного використання доступної смуги пропускання. Бездротова технологія MIMO є одним з цих методів.



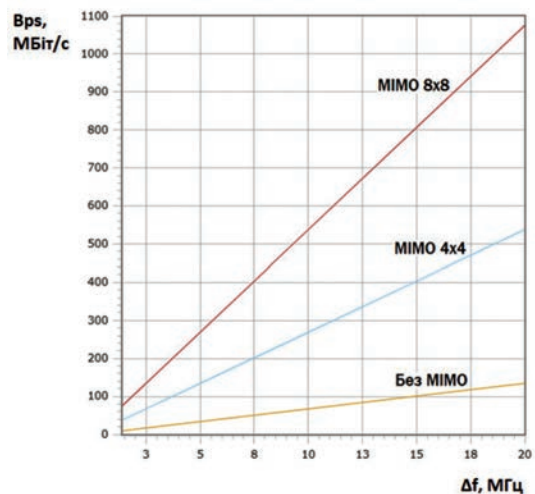
а) Залежність в каналах з QPSK модуляцією



б) Залежність в каналах з 16QAM модуляцією



в) Залежність в каналах з 64QAM модуляцією



г) Залежність в каналах з 256QAM модуляцією

Рис. 2. Швидкість передачі даних в каналах на базі MIMO систем в порівнянні з їх відсутністю

Вживаючи підвищення швидкості передачі в каналі зв'язку на підставі МІМО систем, канал для захисту інформації аналогово-цифрової сигналізації матиме швидкість обробки даних набагато вище, ніж в каналах з однією передавальною чи приймальною антеною. При цьому автоматичне керування такою системою буде забезпечено з високою швидкістю і надійністю.

Висновки і пропозиції. Один з методів підвищення пропускної здатності в каналах зв'язку і якості інформації, що передається є використання каналів МІМО. Для того щоб розробникам адекватно оцінити і правильно побудувати підсистеми автоматичного

управління адресно-аналоговою сигналізацією для захисту підприємств із застосуванням в таких системах каналів МІМО, необхідно знати за яких умов досягаються мінімальні і максимальні можливості пропускної здатності. Тому були отримані залежності пропускної здатності від кількості антен на передавальній і приймальній стороні залежно від типу модуляції в каналі на трасі поширення. З отриманих результатів можна зробити висновки про те, які зміни антенних систем на базовій станції є найбільш відповідними. Ці результати мають практичний інтерес для розробників підсистем автоматичного керування сигналізацією для захисту підприємств.

Список літератури:

1. Трунова А.В. Обеспечение информационной безопасности предприятия. *Современные инновации*. 2018. № 4 (26). С. 17–19.
2. Fesenko S.D., Shumilov Y.Y., Egorov A.D., Filimontsev A.S., Shinkarenko A.A., Rubin D.T., Evseev V.L. Fire alarm system communication protocol research based on the components of the «Bolid C2000M» system. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology* 31st January 2015. № 3. С. 451–459.
3. Tynchenko V.S., Kukartsev V.V., Tynchenko V.V., Chzhan E.A., Korpacheva L.N. Automation of monitoring and management of conveyor shop oil-pumping station of coal industry enterprise. *IPDME2018 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2018. №194. С. 14–19.
4. Stouffer K., Lightman S., Pillitteri V., Abrams M., Hahn A. Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems, Distributed Control Systems (DCS), and Other Control System Configurations such as Programmable Logic Controllers (PLC). *NIST Special Publication 800-82 Revision 2 Final Initial Public Draft*. 2013. №2. С. 124–129.

Sharapova O.V., Kosten T.B. SUBSYSTEMS OF AUTOMATIC CONTROL OF ADDRESS-ANALOG SIGNALING FOR PROTECTION OF ENTERPRISES BASED ON MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT

Theoretical issues of organization of the subsystem of automatic control of address-analog signaling for protection of enterprises on the basis of technologies with many inputs and many outputs are investigated. The subsystems of information protection at the enterprises and the problem of information processing in such systems are considered. Automation of the process of personal data protection is a key process in the organization of a full-fledged system of work and protection of personal data at the enterprise. Heterogeneous information security subsystems often interact poorly with each other, creating conflicts and a huge number of events and notifications. Analysis and response to information security events involve a significant human resource of this service, which is not always possible and rational. The considered technology, which allows to solve the problem of covering a large amount of information without losing network bandwidth, is a technology with many inputs and many outputs Multiple Input Multiple Output (MIMO). MIMO is a method of spatial signal encoding that allows you to increase the bandwidth of the channel, which uses two or more antennas for data transmission and the same number of antennas for reception. Due to the fact that the demand for automatic systems for protection of enterprises with high transmission rate and the level of stability of the channel is growing, the urgency of developing automatic control systems for address and analog signaling for enterprise protection using systems with many inputs and many outputs is relevant and timely. task. On the one hand, we need enterprise security and process automation, and on the other hand, we cannot lose the speed of data transmission and information processing in such channels. The main purpose of this work is to study the subsystems of automatic control of address-analog signaling for the protection of enterprises based on MIMO systems.

Key words: security, information security, enterprise protection, communication channels, MIMO.

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 378.147

DOI

Бережна О.Б.

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС

У статті досліджуються компоненти організаційно-педагогічного забезпечення, від яких залежить підвищення ефективності перебудови процесу навчання з використанням елементів доповненої реальності. Зручність використання й інтерактивність роблять технологію доповненої реальності унікальною в плані побудови реальної ситуації.

У роботі виявлено тенденції розвитку навчання взагалі та мобільного навчання зокрема, що необхідні для успішної реорганізації традиційного процесу навчання. До них можна віднести: розширення навчального контенту; інтеграцію з існуючими системами управління навчанням; поширення політики BYOD (Bring Your Own Device); інтеграцію з інтелектуальною технологією; подальше прискорення обробки даних під час використання мікропроцесів для неформального навчання; персоналізацію навчальних шляхів; спеціалізований контент, розміщений у локальних мережах; інклюзивне навчання (за участю студентів); збільшення долі відео та інтерактивного відеонавчання; поширення гейміфікації для ділових ігор та моделювання ситуацій.

Досліджено основні структурні елементи доповненої реальності: систему відображення; інтерактивну систему; систему зв'язку; 3D-рендеринг та цільове розпізнавання, описано особливості їх застосування.

Виявлено структуру програмного забезпечення, що розділена на рівень інтерфейсу, призначеного для користувача, рівень планування і рівень обслуговування додатків. Розкрито функції, за які відповідають указані рівні. Зокрема, рівень планування містить модуль управління рівнем обслуговування, модуль прив'язки служби, модуль пересилання повідомлень і модулі повідомлень про винятки, в основному для завершення взаємодії рівнів призначеного для користувача інтерфейсу і служб backoffice, включаючи обмін повідомленнями й обробку додатків.

Надано рекомендації, що дозволять полегшити впровадження технології доповненої реальності в освітній процес та підвищити якість навчання. Робота може бути корисна для всіх, хто займається розробленням і застосуванням елементів доповненої реальності для навчання, для викладачів, для розробників прикладного програмного забезпечення, для методистів та студентів відповідних спеціальностей.

Ключові слова: освіта, навчальний процес, доповнена реальність, інформаційні технології, мобільне навчання.

Постановка проблеми. Одним із перспективних способів покращення навчального процесу становиться технологія мобільного навчання на основі доповненої реальності (AR). Зручність використання й інтерактивність роблять технологію доповненої реальності унікальною в плані побудови реальної ситуації.

Активне і планомірне використання елементів доповненої реальності в закладах освіти – це природний процес соціалізації і водночас близьке студентам інформаційне середовище. Впровадження такої технології в навчання різко збільшує потік затребуваної інформації, активізує можливості

студентів, підвищує ефективність самостійної роботи.

Поточне середовище навчання доповненої реальності здатне створювати тривимірну графіку й організовувати ефективну взаємодію викладача зі студентами. Для успішної реорганізації традиційного процесу навчання необхідно виявити компоненти організаційно-педагогічного забезпечення, від яких залежить підвищення ефективності перебудови процесу навчання з використанням елементів AR, розкрити тенденції розвитку навчання взагалі та мобільного навчання зокрема.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі Shen Zheng [1, с. 180] описано основні характеристики доповненої реальності та пропонується розроблений автором засіб мобільного навчання, базований на її використанні. У роботі J. Wylie [2] розглянуто особливості технічної підтримки мобільної освіти, переваги та можливі проблеми використання мобільних пристроїв, що є базою для впровадження AR у навчальний процес. У дослідженні автора А. Кукульської-Хьюм [3] описано переваги та можливі проблеми запровадження мобільних та бездротових технологій навчання для студентів, для закладів освіти та для системи освіти в цілому на національному та міжнародному рівнях. Також розглянуто відношення організацій до мобільного навчання як до частини електронного навчання та відповідні правові норми. У роботі [4] автори Т. Khan, К. Johnston та J. Ophoff розглянули вплив технології AR на мотивацію навчання студентів та описали відмінності в мотивації навчання студентів до та після використання мобільного додатка з доповненою реальністю.

Постановка завдання. Метою статті є виявлення особливостей організації освітнього процесу, пов'язаних із запровадженням елементів AR, та дослідження факторів організаційно-педагогічного забезпечення, які сприяють підвищенню ефективності процесу навчання. Надано рекомендації, що дозволять покращити якість технології навчання на основі AR та мінімізувати її потенціальні недоліки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Результатом системи доповненої реальності є інтеграція інтерактивного реального світу з інтерактивним комп'ютерним світом таким чином, що вони утворюють єдине середовище. Для AR характерні такі структурні компоненти: система відображення; інтерактивна система діалогу з користувачем; система зв'язку; 3D-візуалізація та цільове розпізнавання об'єктів.

Система відображення в основному забезпечує можливість збору даних і відображення інтелектуального терміналу, що є важливим для розширення додатків AR. Дозвіл камери зазвичай сягає рівня до 10 млн пікселів, при цьому можна знімати зображення високої чіткості.

Інтерактивна система є основним засобом взаємодії сенсорного екрану, голосової та інших взаємодій для того, щоб удосконалювати взаємозв'язок між людиною і комп'ютером, наприклад, через смартфон. Інтерактивна реакція може бути викликана через багатоканальну віртуальну інформацію, створену комп'ютером.

Технології бездротового зв'язку та інтернет-технології – це технології підтримки мобільних послуг. 4G, 5G та інші технології бездротового зв'язку підтримують розроблення додатків AR шляхом забезпечення пропускну здатності мережі та інших підтримуваних систем.

Алгоритм моделювання та рендерингу тривимірної графіки працює з тривимірними об'єктами, які можуть поліпшити відображення в реальному середовищі. Доповненій реальності необхідно реалізувати розпізнавання об'єктів у режимі реального часу в складних рухомих сценах, таких як вилучення та розпізнавання об'єктів складних сцен з використанням множини аспектів, таких як колір, текстура і контур. Так, AR уже використовується в ряді музеїв, наочно і з покращеною якістю демонструючи задуми художників або скульпторів.

Система AR аналізує великі обсяги даних щодо місцезнаходження інформації про сцену для забезпечення точного позиціонування комп'ютерних віртуальних об'єктів у реальному режимі часу, що зазвичай включає в себе три основних етапи: а) отримати і проаналізувати інформацію про об'єкт; б) згенерувати віртуальний образ; в) об'єднати фактичну ситуацію з потоком зображення для створення сцени злиття [1, с. 180].

Програмне забезпечення AR у мовах m-learning являє собою мобільний додаток, який працює на телефоні або планшеті. Відповідно до Android-додатків структура програмного забезпечення розділена на рівень інтерфейсу, призначеного для користувача, рівень планування і рівень обслуговування додатків.

Вказані рівні відповідають за такі функції:

1) рівень користувача інтерфейсу в основному складається з декількох видів діяльності й налаштувань, серед яких основні інтерфейси дисплея мають налаштування для роботи з камерами, картою, Web-сервісами та відображенням символів;

2) рівень планування містить модуль управління рівнем обслуговування, модуль прив'язки служби, модуль пересилання повідомлень і модулі повідомлень про винятки, в основному для завершення взаємодії рівнів призначеного для користувача інтерфейсу і служб backoffice, включаючи обмін повідомленнями й обробку додатків;

3) рівень обслуговування додатків складається зі служби, одержувача та контент-провайдера, відповідає за зв'язок із системою, моніторинг і роботу з поведінкою системи та обмін повідомленнями з рівнем планування, включаючи читання і запис даних, доступ до вмісту інформації та оновлення інформації про місцезнаходження.

Для забезпечення таких характеристик доповненої реальності, як віртуальне реальне злиття, взаємодії в реальному часі й тривимірне занурення, AR-додатки мають нове тривимірне віртуальне навчальне середовище, таке як Second Life і Sloode [2]. Зокрема, AR-додатки занурюють у 3D-довкілля і пропонують нові можливості за допомогою поєднання предметного моделювання, викладацького досвіду та взаємодії викладачів і студентів.

Впровадження елементів AR призвело до появи певних тенденцій розвитку навчання взагалі та мобільного навчання зокрема:

1) розширення навчального контенту. Як визначити зміст курсу в середовищі злиття віртуального та реального, як організувати навчальну діяльність, як домогтися прямого спілкування між студентами, як створити модель навчання користувачів й інтерактивну модель їх поведінки – всі ці проблеми чекають розробників і користувачів досліджуваного середовища доповненої реальності;

2) інтеграція з існуючими системами управління навчанням. Як нова технологія, середовище AR повинно мати можливість обмінюватися даними з існуючими інформаційними системами. Але для об'єднання двох різних середовищ потрібно інтенсивне дослідження особливостей того, як це інтеграційне середовище підвищує ефективність навчання, щоб відповідати існуючим та новим методам навчання;

3) інтеграція з інтелектуальною технологією. Поточне середовище навчання доповненої реальності здатне створювати тривимірну графіку й організувати просту взаємодію викладача зі студентами. Але навчання – це дуже складний процес діяльності; ідеальне середовище навчання з доповненою реальністю повинно бути здатним імітувати досвід, методи й поведінку викладачів і мати більш дружні інтерактивні методи.

Окрім названих вище, для сучасного навчання можна визначити такі тенденції розвитку:

1) поширення прийняття політики BYOD. Навчальні організації в усьому світі визнають потребу учнів отримати можливість гнучко навчатися на пристроях за їхнім вибором;

2) персоналізація, що є логічним продовженням гнучкості, яка забезпечується шляхом навчання на основі мікроуроків. Студенти можуть створювати власні або персоналізовані навчальні шляхи, що роблять їх навчання більш релевантним. Персоналізація може бути запропонована на основі профілю студента (заснована на робочих місцях), на основі самооцінки майстерності або за допомогою попередніх тестів;

4) розширення підтримуваного контенту за рахунок інформації з локальних корпоративних мереж, за допомогою спеціалізованої експертизи, на основі якої мають створюватися відповідні навчальні ресурси та персоналізовані шляхи для студентів;

5) збільшення долі відео та інтерактивного відеонавчання. Тренінги на основі інтерактивних відеозображень забезпечують більш високий рівень зацікавленості та досвіду навчання, покращуються результати як формального, так і неформального навчання;

6) поширення гейміфікації з метою розроблення ділових ігор та моделювання ситуацій.

Для підвищення ефективності використання технологій сучасної освіти з елементами AR варто дотримуватися таких рекомендацій.

1. Використання інтерактивних засобів опитування продемонструє сильні та слабкі сторони підготовки окремих студентів і допоможе у формуванні індивідуальних інструкцій.

2. Оформлення студентами звітів у формі коротких відео- та аудіозаписів дозволить підсумувати результати дослідження й отримати навички презентацій перед широкою аудиторією.

3. Групові чати для мобільних пристроїв надають широкі можливості для створення онлайн-форумів, голосувань, викладення додаткових матеріалів для неформального спілкування поза аудиторією з метою поглиблення розуміння навчальних тем. Це особливо актуально під час пандемії та карантину.

4. Використання QR-кодів надає можливості посилання на додаткові ресурси, складні діаграми та зображення, альтернативні джерела відомостей.

Для використання в навчальному процесі варто вибрати певну технологію хмарних сервісів. Хмарні сервіси можуть бути представлені: IaaS (Infrastructure as a service); PaaS (Platform as a service); SaaS (Software as a service) [3].

Хмарний сервіс SaaS відноситься до прикладного рівня хмарних обчислень, надає послуги зберігання даних у «хмарі» і доступ до додатків, для роботи з якими потрібний тільки веб-браузер. Сервіс SaaS на основі публічної «хмари» представляє найбільший інтерес для організації мобільного навчання.

Вивчення можливостей, що надаються компаніями Google, Microsoft, Apple, в рамках SaaS-сервісів для освітніх установ показує, що хмарні сервіси реалізують більшу частину функціоналу навчання з елементами AR. Для роботи з електронним контентом надаються послуги зберігання,

читання, редагування даних і організації загального доступу до них.

Для вирішення комунікаційних завдань є електронна пошта, обмін миттєвими повідомленнями, форум, можливості складання календарного плану, об'єднання користувачів у групи тощо. Хмарний сервіс Microsoft Office 365 надає рішення для викладачів і студентів на базі програмних продуктів Exchange (електронна пошта, календар, контакти), SharePoint (спільна робота над документами), Lync (обмін повідомленнями, аудіо- та відеоконференції), OfficeWebApps і ін. Наприклад, у результаті використання інтернет-сервісів Microsoft у навчанні можна вирішити ряд таких завдань:

- створення навчальних груп на базі кожного лекційного потоку;
- організація календаря навчальних завдань на семестр із можливістю автоматичного оповіщення групи за певний термін і подальшої позначки про їх виконання;
- обговорення окремої лекційної теми на базі записника OneNoteWebApps;
- спільне редагування документа кількома учасниками групи (найбільш вдало дана задача була реалізована в процесі виконання кейс-завдань і курсових робіт, тому що для обговорення результатів із викладачем або іншими учасниками груп не потрібне пересилання файлів і створення нових документів на базі попередніх);
- розміщення навчальних матеріалів з можливістю їх поновлення в поточному файлі (внесення доповнень, додавання коментарів до окремих елементів змісту в разі ускладнень під час їх виконання в більшості учасників групи, виправлення синтаксичних помилок);
- отримання студентами завдань і звітність про їх виконання за відсутності на заняттях з поважних причин, крім контрольних заходів, у рамках сервісів, доступних у режимі 24/7 з будь-якого місця і для більшості мобільних пристроїв у браузері.

До істотних переваг даного виду навчання можна віднести доступність та різноманітність навчальних матеріалів, полегшеність комунікацій і консалтинг, наявність високоякісного мобільного освітнього контенту. Даний формат навчання в цілому змінює ставлення студентів до власної освіти, дозволяє їм розвивати уяву, аналітичне мислення, навички самоорганізації, саморозвитку, професійного становлення, критичного аналізу отриманих знань і ефективного застосування їх на практиці [4].

Факторами організаційно-педагогічного забезпечення, що сприяють підвищенню ефективності процесу навчання з елементами AR, є:

- 1) формування мотиваційної, операціональної і рефлексивної готовності у викладацького складу та студентів до реалізації цілей навчання з елементами доповненої реальності (НДР);
- 2) маркетингові дослідження з метою визначення ніші НДР;
- 3) спрямованість методичного забезпечення НДР на відповідність змісту і результатів навчання вимогам державних освітніх стандартів;
- 4) адаптивність системи методичного забезпечення НДР;
- 5) матеріально-технічне забезпечення освітнього процесу НДР науковою, навчальною та методичною літературою, програмним забезпеченням навчального призначення;
- 6) здійснення педагогічного моніторингу стану і результатів освітнього процесу НДР;
- 7) комплексна інформатизація системи забезпечення НДР.

Педагогічними умовами ефективною реалізації НДР виступають:

- 1) функціонування освітнього спілкування у вигляді форуму, чату, блога, обміну мультимедійними файлами;
- 2) здійснення керівництва освітнім процесом НДР із боку викладача;
- 3) наявність мультимедійного доступу до навчальних ресурсів;
- 4) використання ігор, комп'ютерних симуляцій, сервісів Web 2.0 та WEB 3.0;
- 5) підтримка, поповнення колекції цифрових освітніх ресурсів для мобільних пристроїв;
- 6) розуміння змісту освітнього контенту студентом;
- 7) безпека функціонування (здоров'я-збереження) освітнього процесу.

Таким чином, навчання з елементами AR має високий дидактичний потенціал, а його технології шляхом інтеграції в освіту створюють нову модель підготовки спеціалістів. Реалізація на практиці цієї моделі можлива за ефективного використання інтерактивних, інноваційних методів навчання, заснованих на автономії студента.

Висновки. Проведені дослідження показали, що найбільш перспективний шлях упровадження елементів AR на базі мобільних пристроїв у навчання полягає в грамотному поєднанні нових форм навчання (інтерактивні лекції, вебінари, симуляції, тренінги, дискусії), нових видів навчальних завдань (слайд-презентації, веб-проекти, навчальні

підкасти) і традиційних. Навчання з елементами AR у системі освіти має будуватися на принципі інтерактивного керованого самонавчання. У роботі виявлено педагогічні умови ефективної реалізації навчання з елементами AR.

Робота може бути корисна для всіх, хто займається розробленням та застосуванням елементів доповненої реальності для навчання, для викла-

дачів, для розробників прикладного програмного забезпечення, для методистів і студентів відповідних спеціальностей.

Перспективним напрямом для подальших досліджень є аналіз існуючого та розроблення спеціалізованого програмного забезпечення, насамперед мобільних AR-додатків, для забезпечення процесу навчання з новими можливостями.

Список літератури:

1. Shen Zheng. Research on Mobile Learning Based on Augmented Reality. *Open Journal of Social Sciences*. 2015. № 3. P. 179–182.
2. Wylie J. Mobile learning technologies for 21st century classrooms. URL: <http://www.scholastic.com/browse/article.jsp?id=3754742>
3. Кукульска-Хьюм А. Мобильное обучение. Аналитическая записка. Институт ЮНЕСКО по информационным технологиям в образовании. URL: <http://iite.unesco.org/pics/publications/ru/files/3214679.pdf>
4. Khan T., Johnston K., Ophoff J. The Impact of an Augmented Reality Application on Learning Motivation of Students. URL: <https://www.hindawi.com/journals/ahci/2019/7208494/>

Berezhna O.B. ASPECTS OF IMPLEMENTING AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY IN THE EDUCATIONAL PROCESS

The article examines the components of organizational and pedagogical support, on which depends the increase in the effectiveness of the restructuring of the learning process using elements of augmented reality. Ease of use and interactivity make augmented reality technology unique in terms of building a real situation.

The paper identifies trends in the development of learning in general and mobile learning in particular; necessary for the successful reorganization of the traditional learning process. These include the expansion of educational content; integration with existing learning management systems; dissemination of BYOD (Bring Your Own Device) policy integration with intelligent technology; further accelerate data processing using microprocesses for non-formal learning; personalization of learning paths, specialized content posted on local networks; inclusive education (with the participation of students); increasing the share of video and interactive video learning; distribution of gameplay for business games and situation simulation.

The main structural elements of augmented reality are studied: the display system; interactive system; communication system; 3D rendering and target recognition, features of their application are described.

The structure of the software is revealed, which is divided into the level of the user interface, the planning level and the application maintenance level. The functions for which the specified levels are responsible are disclosed. In particular, the scheduling layer includes a service level management module, a service binding module, a message forwarding module, and exception message modules, mainly to complete the interaction of user interface levels and backoffice services, including messaging and application processing.

Recommendations are given that will facilitate the implementation of augmented reality technology in the educational process and improve the quality of education. The work can be useful for all those involved in the development and application of augmented reality elements for learning, for teachers, for application software developers, methodologists and students of relevant specialties.

Key words: education, educational process, augmented reality, information technologies, mobile learning.

Бунке О.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЕФЕКТИВНІ СЦЕНАРІЇ ВИКОРИСТАННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Проблема. Хмарне рішення «загального призначення» – це рішення для офісних працівників, що призводить до підвищення якості їхньої роботи тільки за рахунок оптимізації робочого часу. Якщо ж працівник у своїй діяльності повинен користуватися спеціалізованими програмами (це стосується бухгалтерів, адміністраторів баз даних, фінансових аналітиків, розробників програмного забезпечення), то наявності хмарного сховища або функціональної електронної пошти явно недостатньо. Для цих цілей на сучасному ринку пропонуються спеціалізовані рішення. Ці сервіси орієнтовані на співробітників певних категорій і надають користувачам можливість працювати з відповідним програмним забезпеченням без його установки на комп'ютер.

Мета. Дослідження ефективних сценаріїв використання хмарних технологій на підприємстві.

Методи дослідження. Аналіз науково-технічної літератури з питань дослідження ефективних сценаріїв використання хмарних технологій на підприємстві.

Основні результати дослідження. Розкрито ефективні сценарії використання хмарних технологій на підприємстві. Підкреслено, що хмарні технології відкривають нам безліч нових можливостей для розвитку бізнесу, таких як перехід від капітальних витрат до операційних, використання ІТ-ресурсів на вимогу, доступ до складних передових технологій за мінімальних знань у цій галузі. У роботі зазначено, що Приватна хмара – це хмара, яка знаходиться в локальній мережі організації. Публічна хмара – це послуга хмарного провайдера. Здійснено дослідження моделей обслуговування: IaaS (Infrastructure as a Service), PaaS (Platform as a Service), DBaaS (Database as a Service), DaaS (Desktop as a Service), BaaS (Backend as a Service), SaaS (Software as a Service). Розкрито основні сценарії використання хмарних технологій на підприємстві, такі як хмара в організації, хмара в холдингу, хмара для клієнтів, хмарна підсистема (робота в моделі сервісу). Розроблено схеми основних сценаріїв використання хмарних технологій на підприємстві з обов'язковим наведенням графічних матеріалів. Наведено переваги та недоліки схем сценаріїв використання хмарних технологій на підприємстві. Окреслено принципи обслуговування й оновлення програмного забезпечення. Описано доступ до функціоналу, який здійснюється через браузер, тобто фактично можливість роботи залежить безпосередньо від наявності доступу в Інтернет і швидкості підключення, тобто можна працювати з будь-якої точки на планеті.

Висновки та конкретні пропозиції автора. Хмарні обчислення забезпечують практично необхідну потужність, усуваючи проблеми масштабованості. У найближчому майбутньому сервіси на основі хмарних технологій стануть невід'ємною частиною кожного підприємства, ставши одним із факторів підвищення конкурентоспроможності компанії.

Ключові слова: хмарні технології, сценарії, інформаційні технології, підприємство, програмне забезпечення.

Постановка проблеми. На сучасному рівні розвитку програмного забезпечення і технічного оснащення хмарні технології є дієвим інструментом, здатним істотно підвищити ефективність бізнесу. Сучасні хмарні рішення можна умовно розділити на дві великі групи – рішення «загального призначення» та спеціалізовані. Рішення загального призначення насамперед спрямовані на підвищення ефективності роботи всіх співробітників компанії – менеджерів та інших офісних працівників.

Зазвичай користувачеві пропонується досить стандартний набір сервісів. Як правило, це хмарне сховище даних, що дозволяє отримувати доступ до своїх файлів з будь-якої точки світу і забезпечувати спільну роботу з файлами. Деякі постачальники включають у даний сервіс службу «мобільний офіс», яка дає можливість працювати з файлами без установки відповідних додатків на комп'ютер. Також у хмарах може функціонувати служба планування робочого часу (типу «календар»), служба

електронної пошти, служба відеоконференцій, служба оповіщення. У прагненні залучити нових клієнтів компанії, які надають дані послуги, постійно розширюють свій функціонал:

- збільшують обсяги хмарних сховищ (іноді безкоштовно, іноді – у вигляді заохочення за залучення нових користувачів);

- збільшують час зберігання й обсяг листів у поштових ящиках, надають різні бонуси.

Але в будь-якому випадку хмарне рішення «загального призначення» – це рішення для офісних працівників, що призводить до підвищення якості їхньої роботи тільки за рахунок оптимізації робочого часу. Якщо ж працівник у своїй діяльності повинен користуватися спеціалізованими програмами (це стосується бухгалтерів, адміністраторів баз даних, фінансових аналітиків, розробників програмного забезпечення), то наявності хмарного сховища або функціональної електронної пошти явно недостатньо. Для цих цілей на сучасному ринку пропонуються спеціалізовані рішення. Ці сервіси орієнтовані на співробітників певних категорій і надають користувачам можливість працювати з відповідним програмним забезпеченням без його установки на комп'ютер.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вивчення принципів та механізмів використання хмарних технологій у різних сферах діяльності здійснило чимало вчених, ці напрацювання викладено в їхніх наукових працях.

Так, О.І. Волот [1] дослідив принципи застосування хмарних технологій в обліку та управлінні підприємствами реального сектору економіки. Автором висвітлено питання щодо визначення сучасного стану та тенденцій розвитку й використання хмарних технологій в обліку та управлінні підприємствами, досвіду впровадження «хмар» у провідних країнах світу, застосування та використання хмарних обчислювань як компонентів нових ІКТ для обліку та управління підприємствами реального сектору економіки країни. У рамках наукового дослідження представлено моделі хмарних технологій, які орієнтовані на кінцевого користувача, а також наведено приклади застосування хмарних технологій в автоматизації обліку й управління підприємствами та хмарні платформи сучасних корпорацій. Визначено основні переваги та недоліки використання хмарних технологій для споживачів та організацій, ризики використання хмарних сервісів і доведено, що сучасні хмарні технології є прогресивним і перспективним рішенням, одним з елементів революційної «третьої ІТ-платформи».

Ю.А. Дайновський та Л.К. Гліненко [2] провели дослідження існуючих бізнес-моделей надання хмарних послуг; виділили основні інваріанти, що застосовуються у класифікуванні цих бізнес-моделей, та систематизували значення, яких набувають у різних моделях такі інваріанти, як: рівень надання хмарних послуг, модель розгортання хмари, зміст пропозиції цінності та модель отримання доходу. Сформульовано умови успішного впровадження бізнес-моделей провайдерів хмарних послуг на рівнях IaaS, PaaS, SaaS; виділено цільові сегменти споживачів цих послуг та підстави вибору тих чи інших моделей обслуговування споживачами. Систематизовано пропозиції спеціалізованих хмарних послуг та окреслено їхню привабливість для певних типів споживачів; досліджено тенденції ринку хмарних послуг в Україні та їхній вплив на вибір моделей надання і споживання хмарних сервісів.

Використання хмарних сервісів Google Drive та Telegram у підготовці майбутніх фахівців засобами наскрізного моделювання дослідив А.В. Соловйов [3].

Розглянуто історію формування ідеї реалізації синтезу єдиного середовища хмарних обчислень з окремих напрямків інформаційних технологій у роботі А.П. Лозінського [4]. Автором запропоновано реструктурований варіант оригінальної моделі багаторівневої архітектури платформи хмарних обчислень та представлено застосування моделі у формалізації процесу оптимізації структури перерозподілу ресурсів методом комбінаторної оптимізації. Розглянуто можливість залучення хмарних обчислень до організації наукової діяльності.

Однак, незважаючи на масштабність наукових досліджень за темою даної роботи, питання дослідження ефективних сценаріїв використання хмарних технологій на підприємстві залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Постановка завдання. У рамках даної статті метою є дослідження ефективних сценаріїв використання хмарних технологій на підприємстві. У роботі необхідно виконати низку завдань:

- дослідити ряд моделей обслуговування публічних і приватних хмар;

- розкрити основні сценарії використання хмарних технологій на підприємстві;

- навести переваги та недоліки схем сценаріїв використання хмарних технологій на підприємстві.

Виклад основного матеріалу дослідження. Хмарні технології відкривають нам безліч нових можливостей для розвитку бізнесу, таких як перехід від капітальних витрат до операційних, вико-

ристання ІТ-ресурсів на вимогу, доступ до складних передових технологій за мінімальних знань у цій галузі. Крім того, поява хмарних обчислень дала поштовх розвитку інших технологій: високонавантажених і відмовостійких систем, Інтернету речей і багатьох інших.

Всі моделі розгортання умовно можна розділити на два типи: приватна і публічна хмара. Приватна хмара – це хмара, яка знаходиться в локальній мережі організації. Модель приватної хмари найчастіше застосовується в сценаріях розгортання, де присутні високі вимоги до конфіденційності даних. Публічна хмара – це послуга хмарного провайдера. Вона знаходиться за межами корпоративної мережі, де всю роботу з обслуговування інфраструктури бере на себе компанія-провайдер. Публічна хмара при цьому теж може забезпечити достатній рівень конфіденційності, різниця полягає в сценаріях застосування і доступності такої моделі. Також існують гібридні хмари, в яких критичні бізнес-процеси залишаються в локальному обчислювальному середовищі, тоді як завдання взаємодії з клієнтами вирішуються за допомогою публічних хмар.

І публічні, і приватні хмари надають ряд моделей обслуговування. Нині дана сфера активно розвивається, постійно з'являються нові моделі й концепції, а також різні їх поєднання. Наведемо деякі з них:

IaaS (Infrastructure as a Service) – інфраструктурні послуги, до яких можна віднести віртуальні сервери, мережі, сховища даних та інтерфейси, що надаються як хмарна послуга. Замовник орендує у провайдера обчислювальні потужності, при цьому маючи можливість вибудувати власну інфраструктуру за допомогою пропонованих сервісів. Такий підхід дозволяє компаніям перейти від капітальних витрат до операційних, що дає такі конкурентні переваги, як гнучкі процеси, швидка реакція на оточення, що змінюється, і багато інших.

PaaS (Platform as a Service) – послуги платформи, звані проміжним програмним забезпеченням (Middleware). У цю модель входять послуги, що допомагають розробляти рішення бізнес-задач, не вникаючи в тонкощі настройки платформи.

DBaaS (Database as a Service) – різновид PaaS, в якій замовнику надається попередньо налаштована база даних й інструменти роботи з нею. Всі роботи, пов'язані з адмініструванням, бере на себе провайдер послуги.

DaaS (Desktop as a Service) – спосіб створення робочого місця співробітника. З готових елементів можна сформуванати автоматизоване робоче місце, доступне через Інтернет.

BaaS (Backend as a Service) – служби, пов'язані з розробленням мобільних додатків. Вони можуть включати в себе як елементарні засоби зберігання (Storage, Simple Table), так і більш складні механізми реалізації серверної частини програми (Notification Hub, REST API).

SaaS (Software as a Service) – додаток як послуга, тобто додаток провайдера працює в хмарі, при цьому взаємодіючи із замовником за допомогою клієнта (найчастіше, веб-браузера).

Все частіше сучасні інтегровані ІТ-рішення в багатьох галузях будуються на основі хмарних сервісів. Така модель дозволяє легко інтегрувати рішення з будь-якою наявною ІТ-системою, скоротити і спростити процеси впровадження, уникнути капітальних і мінімізувати операційні витрати на його придбання, що, безумовно, сприяє розвитку бізнесу. Отже, перехід на використання хмарних технологій у майбутньому стане основним пунктом стратегії абсолютної більшості вітчизняних компаній.

Хмарні технології роблять для компаній доступними ІТ-рішення в потрібний час і в потрібному обсязі, а значить, істотно економлять час виведення нових товарів на ринок, крім того, знижуються вхідні бар'єри, а також з'являються варіанти для використання комерційних можливостей. Очевидним ефектом використання хмарних технологій стане посилення конкуренції на ринку, що у свою чергу вплине на його структуру в багатьох галузях економіки від ринку FMCG-продуктів до промислового виробництва. Таким чином, компанії, які оцінили масштаб позитивного ефекту переходу в «хмари», отримують вагомні переваги у своїй сфері діяльності [5].

Натепер можна виділити чотири основні сценарії використання хмарних технологій на підприємстві (рис. 1).



Рис. 1. Основні сценарії використання хмарних технологій на підприємстві

Розглянемо докладніше кожен із перерахованих сценаріїв.

Схема сценарію використання хмарних технологій на підприємстві, хмара всередині організації наведена на рисунку 2.

Переваги хмарних технологій усередині організації:

- співробітники можуть використовувати комп'ютери, що не володіють великою обчислювальною потужністю;
- співробітники легко переміщуються всередині організації і між офісами;
- легко підключити зовнішніх клієнтів, для них установка програмного забезпечення не вимагається.

Схема сценарію використання хмарних технологій на підприємстві, хмара всередині холдингу наведена на рисунку 3.

Переваги хмарних технологій усередині холдингу:

- в умовах використання однакових прикладних рішень значне зниження витрат на адміністрування;
- стрімке та моментальне оновлення прикладних рішень для компаній усіх рівнів.

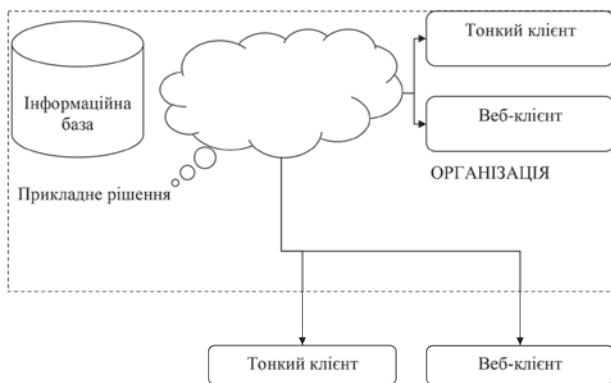


Рис. 2. Схема сценарію використання хмарних технологій на підприємстві. Хмара всередині організації

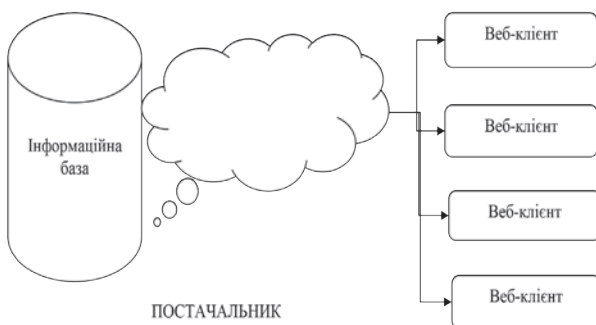


Рис. 4. Схема сценарію використання хмарних технологій на підприємстві. Хмара для клієнтів

Схема сценарію використання хмарних технологій на підприємстві, хмара для клієнтів наведена на рисунку 4.

Переваги хмарних технологій для клієнтів:

- просте і зручне підключення до програми;
- мобільність, можливість користуватися програмою з різних місць (будинки, на роботі і т.д.).

Схема сценарію використання хмарних технологій на підприємстві, хмарна підсистема (робота через Інтернет у моделі сервісу) наведена на рисунку 5.

Переваги роботи в моделі сервісу:

- споживач не несе витрат щодо установки, оновлення і підтримки обладнання і програмного забезпечення;
- споживач вільний у виборі часу і місця роботи з програмою, тому що постачальник забезпечує її цілодобову роботу через Інтернет;
- гарантована стабільна робота на останній версії програми, що відповідає останнім змінам законодавства [5].

У разі використання хмарного сервісу підприємства оплачують тільки оренду самих сервісів.

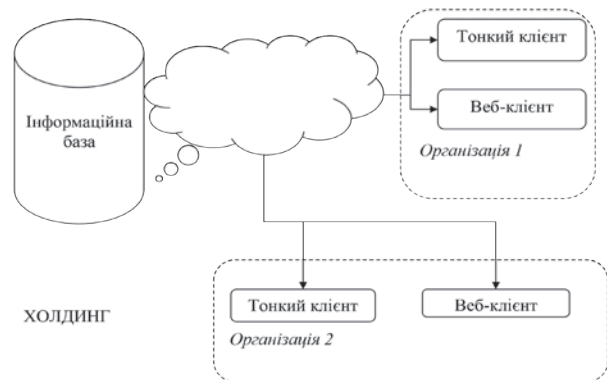


Рис. 3. Схема сценарію використання хмарних технологій на підприємстві. Хмара всередині холдингу

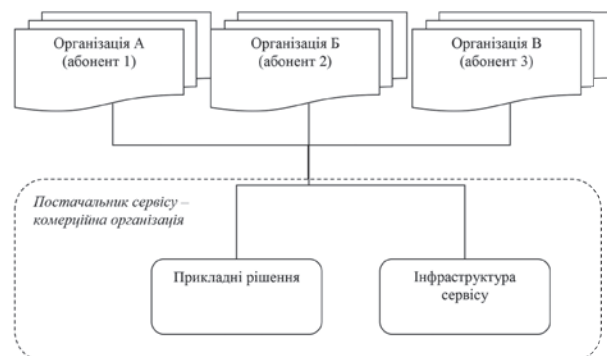


Рис. 5. Схема сценарію використання хмарних технологій на підприємстві. Хмарна підсистема (робота через Інтернет у моделі сервісу)

У цьому випадку вони позбавляються від необхідності встановлювати програмне забезпечення на власні комп'ютери, і обслуговування й оновлення програмного забезпечення здійснює безпосередньо технічна підтримка сервісу. Доступ до функціоналу здійснюється через браузер, тобто фактично можливість роботи залежить безпосередньо від наявності доступу в Інтернет і швидкості підключення, тобто можна працювати з будь-якої точки на планеті, де є доступ в мережу Інтернет, хмарні технології дозволяють економити на придбанні, підтримці, модернізації програмного забезпечення й устаткування.

Найбільш поширеними недоліками «хмарних» технологій фахівці вважають те, що користувач не є власником і не має доступу до внутрішньої хмарної інфраструктури, збереження призначених для користувача даних сильно залежить від компанії провайдера, для отримання якісних послуг користувачеві необхідно мати надійний і швидкий доступ у мережу Інтернет.

Хмарні технології є еволюційним розвитком ІТ-індустрії в цілому. хмарні обчислення можуть надати організаціям засоби й методи підвищення ефективності управління бізнесом. Витрати на введення повноцінного проектного управління завжди були занадто високі для малого і середнього бізнесу. Ситуація різко змінилася за останні кілька років у зв'язку з виходом на ринок простих рішень, які зводять стартові витрати і трудомісткість з управління проектами до мінімуму.

Проектне управління є важливою частиною бізнесу. Воно забезпечує його правильну побудову, а також організацію ефективної комунікації всередині команди. Використання хмарних технологій у проектному управлінні позначається і на фінансових результатах. Правильно підібравши тарифний план з потрібним функціоналом, можна істотно заощадити.

Стрімкий розвиток хмарних технологій зробив вирішальний крок до поширення проектного менеджменту в середовищі середнього і малого бізнесу. Розміщення сховищ даних і засобів їх обробки в «хмарі» дозволило знизити майже до нуля вартість створення інформаційної інфраструктури. А програмування систем управління проектом у стандартному web-інтерфейсі допомогло практично виключити витрати на навчання персоналу, оскільки у наш час складно знайти людину, що не використовує будь-який пристрій з доступом до Інтернету.

Зараз хмарні технології виходять на роль провідних в інформаційному середовищі, що свідчить про те, що найближчим часом легкі та зручні системи з управління проектами будуть використані практично всіма типами бізнесу.

Висновки. Хмарні технології стрімко зайняли місце серед провідних країн у сфері інформаційних технологій. Цілком очевидно бажання організації скористатися досвідом у бізнесі для оптимізації інформаційної інфраструктури.

Хмарні обчислення забезпечують практично необмежену потужність, усуваючи проблеми масштабованості. Хмарні обчислення відкривають розробникам доступ до програмних і апаратних активів, які більшість користувачів малого і середнього бізнесу не могли б собі дозволити, у тому числі розробники додатків, використовуючи керовані через Інтернет хмарні обчислення, що є результатом такої конфігурації, мають доступ до ресурсів, що дозволяє розробляти продукти, які їм не були доступні раніше. Можна з упевненістю сказати, що в найближчому майбутньому сервіси на основі хмарних технологій будуть невід'ємною частиною кожного підприємства, ставши одним із факторів підвищення конкурентоспроможності компанії.

Список літератури:

1. Волот О.І. Застосування хмарних технологій в обліку та управлінні підприємствами реального сектору економіки ; Центральноукр. нац. техн. ун-т. Кропивницький : Вид-во КНТУ, 2019. С. 190–198.
2. Дайновський Ю.А., Гліненко Л.К. Бізнес-моделі хмарного надання ІТ-послуг. *Маркетинг і цифрові технології*. 2019. Т. 3. № 2. С. 18–44.
3. Соловйов А.В. Використання хмарних сервісів Google Drive та Telegram при підготовці майбутніх фахівців засобами наскрізного моделювання. *Фізико-математична освіта*. 2018. № 3 (17). С. 89–93.
4. Лозинський А.П. Синтез технологій платформ хмарних обчислень. *Control Systems and Computers*. 2019. № 6. С. 35–45.
5. Петренко О.О. Особливості реалізації сервіс-орієнтованих додатків у хмарі. *Системні дослідження і інформаційні технології*. 2017. № 3. С. 29–33.
6. Seethamraju R. Adoption of software as a service (SaaS) enterprise resource planning (ERP) systems in small and medium sized enterprises (SMEs). *Information systems frontiers*. 2015. Vol. 17 (3). P. 475–492. doi: 10.1007/s10796-014-9506-5
7. Cloud computing services and architecture for education. *International Journal of Cloud Computing 1 / C*. Davia et al. 2013. Vol. 2 (2–3). P. 213–236.

8. Mell P., Grance T. The NIST Definition of Cloud Computing: Recommendation of the National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, September 2011. III, 3 p. (Special Publication 800-415). URL: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf>
9. Shor R.M. Cloud Computing for Learning and Performance Professionals. *INFOLINE*. 2011. April. Issue 1104. 22 p.
10. Siegle D. Cloud Computing: A Free Technology option to Promote Collaborative learning. *Gifted Child Today*. 2010. Fall. Vol. 33. № 4. P. 41–45.

Bunke O.S. EFFECTIVE SCENARIOS OF USING CLOUD TECHNOLOGIES AT THE ENTERPRISE

Problem. *A general-purpose cloud solution is a solution for office workers that improves the quality of their work only by optimizing working hours. If the employee must use specialized software (this applies to accountants, database administrators, financial analysts, software developers), the availability of cloud storage or functional e-mail is clearly not enough. For these purposes, specialized solutions are offered on the modern market. These services are targeted at certain categories of employees and allow users to work with the appropriate software without installing it on a computer.*

Objective. *Research of effective scenarios of using cloud technologies at the enterprise.*

Research methods. *Analysis of scientific and technical literature on the study of effective scenarios for the use of cloud technologies at the enterprise.*

The main results of the study. *Effective scenarios for the use of cloud technologies at the enterprise are revealed. It is emphasized that cloud technologies open up many new opportunities for business development, such as the transition from capital to operating costs, the use of IT resources on demand, access to sophisticated advanced technologies with minimal knowledge in this area. The paper states that the Private Cloud is a cloud that is located in the local network of the organization. Public Cloud is a cloud service provider. A study of service models is carried out: IaaS (Infrastructure as a Service), PaaS (Platform as a Service), DBaaS (Database as a Service), DaaS (Desktop as a Service), BaaS (Backend as a Service), SaaS (Software as a Service). The main scenarios of using cloud technologies at the enterprise, such as cloud in the organization, cloud in the holding, cloud for customers, cloud subsystem (work in the service model) are revealed. Schemes of the basic scenarios of use of cloud technologies at the enterprise are developed with obligatory presentation of graphic materials. The advantages and disadvantages of the schemes of scenarios of using cloud technologies at the enterprise are provided. The principles of software maintenance and updating are outlined. The access to the functionality, which is carried out through a browser, i.e. in fact the ability to work depends directly on the availability of Internet access and connection speed – you can work from anywhere on the planet.*

Conclusions and specific suggestions of the author. *Cloud computing provides virtually unlimited capacity, eliminating scalability issues. In the near future, cloud-based services will become an integral part of every enterprise, becoming one of the factors increasing the company's competitiveness.*

Key words: *cloud technologies, scenarios, information technologies, enterprise, software.*

УДК 681.518
DOI

Гайдай А.Ю.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

Грешнов А.Ю.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ

Проведено аналіз останніх тенденцій в Україні та світі, який показав, що тепер стали особливо затребувані програмні додатки та сервіси, що дозволяють навчатися в дистанційному режимі, а останні тенденції у сфері розроблення і розвитку комп'ютерних навчальних систем дають зрозуміти, що такого роду програмні продукти є затребуваними, тому їх впровадження в навчальний процес вищих навчальних закладів є на тепер основним завданням викладачів. Основним призначенням спеціалізованої комп'ютерної системи дистанційного навчання є автоматизація процесу навчання студентів і практикуючих конструкторів основам корабельної інженерії під час роботи в середовищі сучасної суднобудівної системи автоматизованого проектування вищого рівня CADMATIC. Основними цілями розробленої спеціалізованої комп'ютерної системи є: підвищення якості отриманої в процесі навчання інформації; скорочення часу на вивчення й опрацювання навчального матеріалу; вільний вибір часу і місця навчання; створення єдиної системи звітності за показниками навчання; забезпечення збору та первинної обробки вихідної інформації, необхідної для підготовки звітності за показниками навчання. Спеціалізована комп'ютерна система містить такі підсистеми: підсистему мультимедійного навчання; підсистему проведення тестування. Підсистема мультимедійного навчання являє собою систематизований набір відеоуроків з основ корабельної інженерії та навчання роботі в середовищі системи автоматизованого проектування CADMATIC. Підсистема проведення тестування складається із систематизованого набору тестових завдань різного типу. У програмі існує два основних види тестів: проміжний і контрольний (завершальний). Таким чином, аналіз вимог, що пред'являються до системи, дозволив розробити спеціалізовану комп'ютерну систему дистанційного навчання студентів основам корабельної інженерії та роботі в середовищі системи автоматизованого проектування CADMATIC, що дозволяє реалізувати можливість віддаленої роботи, як під час карантинних заходів, так і надалі. Система дозволяє підвищити якість засвоєних знань і ефективність сприйняття інформації за рахунок використання мультимедійних засобів навчання та інструментів системи автоматизованого проектування CADMATIC, а також скоротити час на вивчення матеріалу, в тому числі й час, витрачений викладачем на подання інформації та прищеплення практичних навичок у тих, хто проходить навчання. Система може використовуватися як студентами вищих навчальних закладів, так і практикуючими конструкторами в області проектування суден. Розроблене програмне забезпечення комп'ютерної системи дистанційного навчання відповідає основним принципам розроблення навчальних програм, а графічний інтерфейс користувача відповідає принципам простоти і зручності використання програми.

Ключові слова: САІР CADMATIC, автоматизація, дистанційне навчання, мультимедійний курс, лабораторна робота.

Постановка проблеми. Использование и развитие современных информационных технологий на всех уровнях обучения модернизирует систему образования, что в результате приводит к развитию и широкому внедрению концепции дистанционного обучения.

Особенность дистанционного образования заключается в том, что это открытая система обучения, которая предполагает активное общение между преподавателем и студентом с помощью современных технологий и средств мультимедиа. Данная форма образования позволяет значительно

расширить круг обучающихся за счет свободы выбора места, времени и темпа обучения [2].

В связи со сложившейся на данный момент в Украине и мире ситуацией, связанной с пандемией коронавируса, стали особенно востребованы программные приложения и сервисы, позволяющие учиться в дистанционном режиме. При этом в значительной мере качество дистанционного обучения определяется качеством программного обеспечения и учебных материалов, используемых в системе дистанционного образования.

Анализ последних исследований и публикаций. На сегодняшний день в мире существует множество компьютерных обучающих систем. Рассмотрим наиболее популярные и широко используемые в Украине и мире системы: «Moodle», «Google Classroom», «Zoom» и т.п.

Moodle является web-ориентированной средой, которую можно масштабировать и настраивать, отличается высокой степенью безопасности и предлагает обширный набор инструментов для компьютеризированного и дистанционного обучения. К преимуществам Moodle можно отнести встроенный конструктор курсов, поддержку синхронного, смешанного и мобильного обучения, видеоконференций, наличие открытого исходного кода и т.д. Однако при этом архитектура системы очень сложна, и дорабатывать самостоятельно Moodle крайне непросто [2].

Google Classroom – это бесплатный сервис для дистанционного обучения. Сервис соединяет другие продукты Google (Google Disc, Google Docs и т.п.) на одной площадке, где можно собрать других людей. Пользоваться площадкой можно как с компьютера, так и при помощи смартфона. В отличие от многих других аналогичных сервисов, Google Classroom бесплатный, простой в использовании и легко интегрируется с другими сервисами Google [2; 6].

Zoom – сервис для проведения видеоконференций, онлайн-встреч и дистанционного обучения. Организовать встречу может любой, создавший учетную запись. Программа отлично подходит для индивидуальных и групповых занятий, студенты могут заходить как с компьютера, так и с планшета либо телефона. К видеоконференции может подключиться любой, имеющий ссылку или идентификатор конференции. Мероприятие можно запланировать заранее, а также сделать повторяющуюся ссылку, то есть для постоянного урока в определенное время можно сделать одну и ту же ссылку для входа [2].

Основной особенностью вышеперечисленных сервисов является их универсальность, что, с одной стороны, дает возможность работы с абсолютно любыми обучающими курсами, с другой – усложняет работу преподавателя и студентов с точки зрения значительных затрат времени на освоение инструментария данных систем. Поэтому помимо описанных выше сервисов существует множество специализированных компактных программных продуктов [3; 5; 6], которые позволяют проводить занятия по конкретной дисциплине или дисциплинам, объединенным одним курсом, в дистанцион-

ном режиме. При этом такого рода приложения являются достаточно простыми в использовании, а также имеют минимальные требования к программному и техническому обеспечению.

Таким образом, последние тенденции в сфере разработки и развития компьютерных обучающих систем дают понять, что данного рода программные продукты являются востребованными, поэтому их внедрение в учебный процесс высших учебных заведений является на сегодняшний день основной задачей преподавателей.

Постановка задачи. Целью статьи является разработка специализированной компьютерной системы дистанционного обучения студентов, а также практикующих конструкторов основам корабельной инженерии с использованием инструментов современной системы автоматизированного проектирования.

Изложение основного материала исследования. Основным назначением специализированной компьютерной системы (далее – СКС) дистанционного обучения является автоматизация процесса обучения студентов и практикующих конструкторов основам корабельной инженерии при работе в среде современной судостроительной системы автоматизированного проектирования (САПР) CADMATIC.

Основными целями разрабатываемой СКС являются: повышение качества полученной в процессе обучения информации (полноты, достоверности, своевременности, согласованности); сокращение времени на изучение и проработку учебного материала; свободный выбор времени и места обучения; создание единой системы отчетности по показателям обучения; обеспечение сбора и первичной обработки исходной информации, необходимой для подготовки отчетности по показателям обучения.

В результате создания системы должны быть улучшены значения следующих показателей: время сбора и первичной обработки исходной информации; общее время обучения основам корабельной инженерии; количество одновременно обучаемых студентов.

Учитывая предъявляемые к системе требования, СКС должна содержать следующие подсистемы:

1) подсистема мультимедийного обучения (блок обучения основам корабельной инженерии, блок видеоуроков с использованием инструментов САПР, справочная информация);

2) подсистема проведения тестирования (блок выполнения тестовых заданий, банк тестовых заданий, статистика).

Подсистема мультимедійного обучения представляет собой систематизированный набор видеороликов по основам корабельной инженерии и обучению работе в САПР CADMATIC [7], в состав которого входит глоссарий, содержащий специализированную терминологию, используемую в подсистеме. Подсистема проведения тестирования состоит из систематизированного набора тестовых заданий различного типа. В программе существует два основных вида тестов: промежуточный, контрольный (завершающий). Структурная схема разрабатываемой СКС приведена на рис. 1.

Основными функциями, которые выполняет разрабатываемая система, являются:

- загрузка данных для запуска программы;
- загрузка данных для запуска видеороликов;
- проверка полученных знаний путем проведения промежуточного и контрольного тестирования;
- накопление полученных в результате промежуточного тестирования знаний (суммирование полученных баллов);

- анализ результатов тестирования;
- формирование отчета для накопления статистических данных о пользователях;
- вывод результатов на дисплей.

На базе структурной схемы системы и описанных выше функций получаем функциональную схему СКС (рис. 2).

В качестве среды разработки для специализированной компьютерной системы дистанционного обучения студентов основам корабельной инженерии была выбрана среда Delphi 7 [1] фирмы Borland, предоставляющая наиболее широкие возможности для программирования приложений ОС Windows.

При разработке интерфейса СКС мы руководствовались принципами простоты и удобства использования приложения [4]. В программе задействовано четыре формы: 1) выбор темы видеоролика; 2) отображение цели и содержания видеоролика, а также его просмотр на экране монитора; 3) ввод персональных данных пользователя перед началом тестирования; 4) реализация функции тестирования.

После того как специализированная компьютерная система дистанционного обучения установлена на компьютер, выполняется следующий алгоритм действий:

1. Запускаем приложение.
2. Появляется окно приветствия программы (рис. 3).
3. После нажатия кнопки «Приступить» откроется окно с выбором тем видеороликов (рис. 4).

4. После выбора темы в окне появится соответствующий видеоролик и вся необходимая информация по нему (рис. 5).

5. Далее выполняется просмотр видеоролика через имеющийся на компьютере медиапроигрыватель (рис. 6), возврат к выбору видеороликов по ссылке «Главное меню» либо прохождение промежуточного теста по выбранному уроку нажатием кнопки «Пройти тест».

6. Перед началом теста вводятся персональные данные студента.

7. Запускаем тест, выбираем вариант ответа в течение предложенного времени, нажимаем кнопку «Далее» (рис. 7).

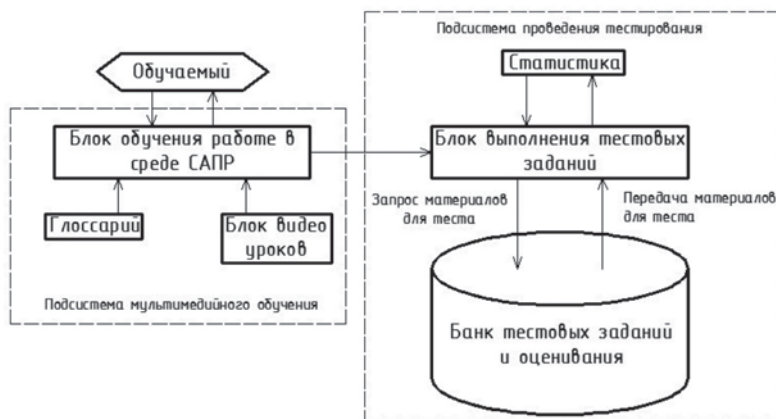


Рис. 1. Структурная схема СКС дистанционного обучения



Рис. 2. Функциональная схема системы дистанционного обучения

8. После прохождения теста появляется диалоговое окно с результатами тестирования (рис. 8), далее выполняется переход к следующему видеоуроку либо возврат к предыдущему (в случае недостаточного количества баллов).

9. Нажатие кнопки «Глоссарий» позволяет пользователю просмотреть значения основных терминов, используемых в видеоуроках (рис. 9).

10. Зайдя в папку с программой, можно просмотреть все результаты прохождения тестов, а именно: дату прохождения теста, фамилию и имя студента, а также результат тестирования (рис. 10).

11. После изучения всех видеоуроков и набора необходимого количества баллов по промежуточным тестам появляется кнопка «Пройти контрольный тест», нажатие которой осуществляет переход к завершающему этапу обучения (рис. 11), в результате чего преподаватель и сам сту-

дент могут оценить уровень знаний, полученных в процессе дистанционного обучения.

12. После прохождения контрольного теста на экране монитора отобразится результат тестирования (вывод результатов аналогичен выводу результатов промежуточного тестирования). Если результат удовлетворительный, программа будет завершена, в противном случае происходит возврат в главное меню программы для повторного изучения видеоуроков с последующим прохождением теста. Данный цикл выполняется до тех пор, пока студент не пройдет тестирование на достаточном уровне. В случае если студент в данный момент не имеет возможности выполнить очередной цикл программы, он в любое время может выйти из системы и повторить попытку в любое удобное для него время с сохранением всех промежуточных результатов обучения.

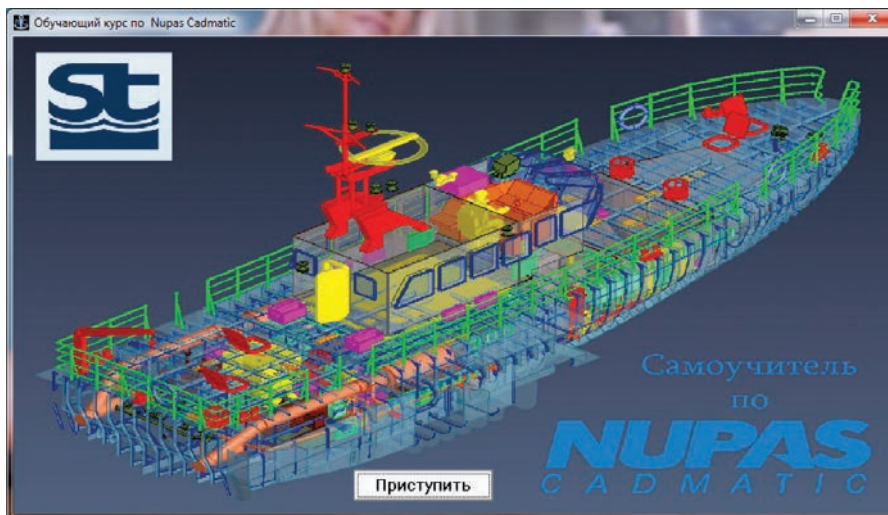


Рис. 3. Окно приветствия программы

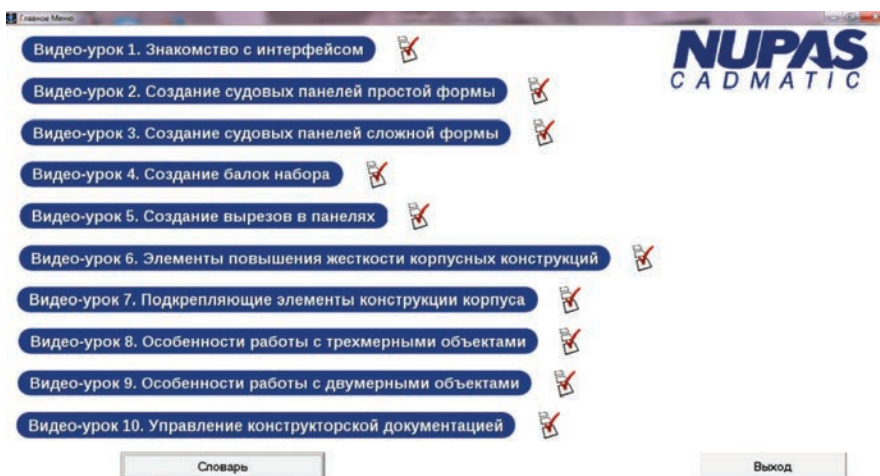


Рис. 4. Окно выбора тем видеоуроков

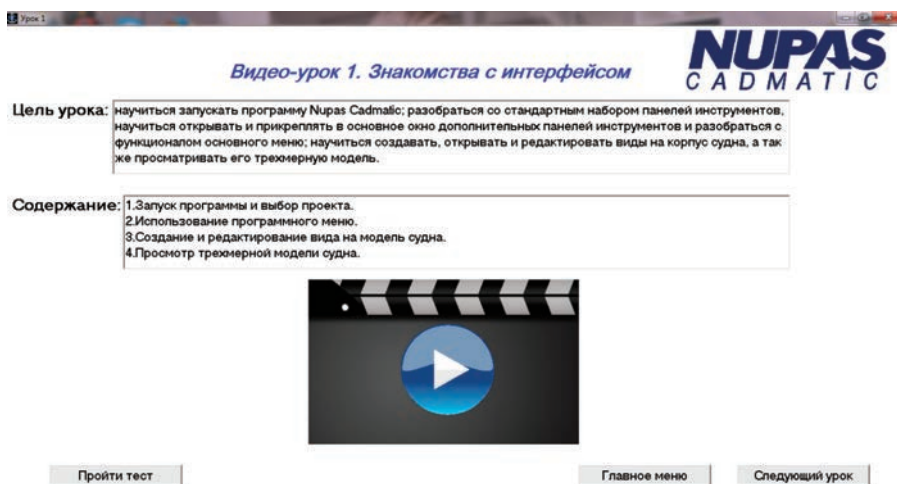


Рис. 5. Окно просмотра содержания видеоурока

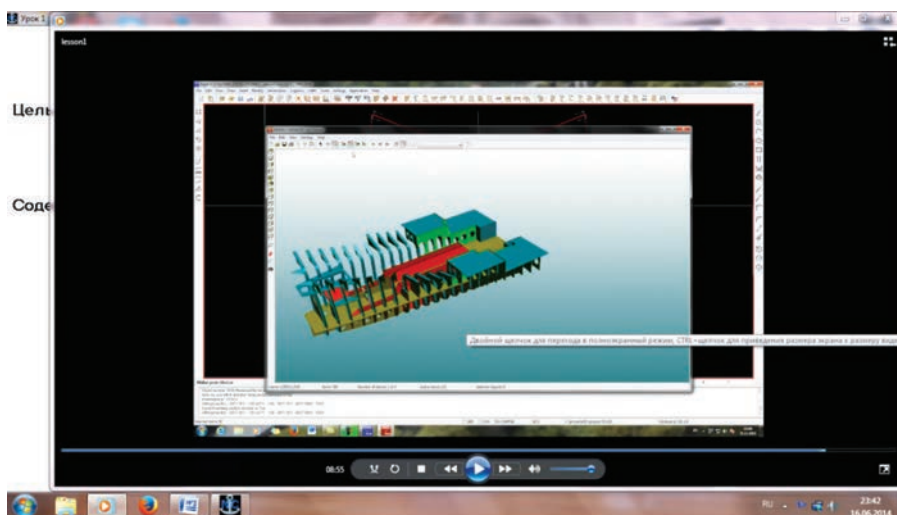


Рис. 6. Окно видеопросмотра выбранного урока

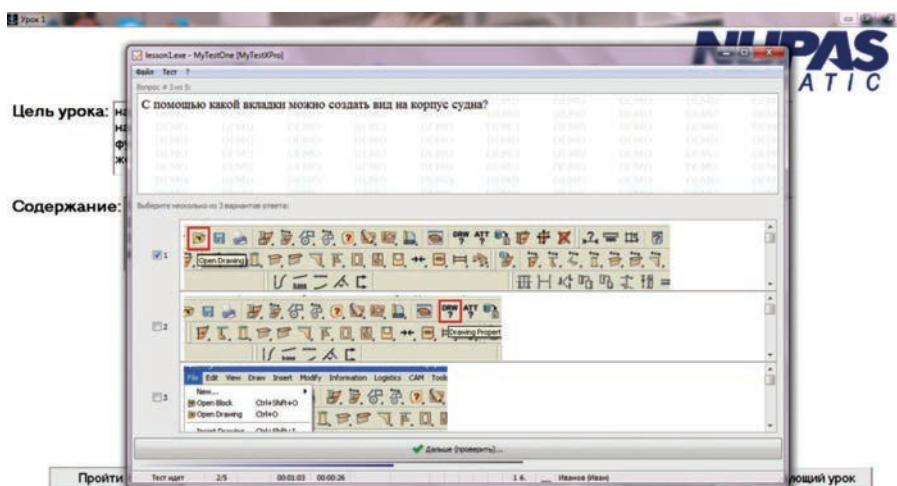


Рис. 7. Окно с заданием для промежуточного тестирования

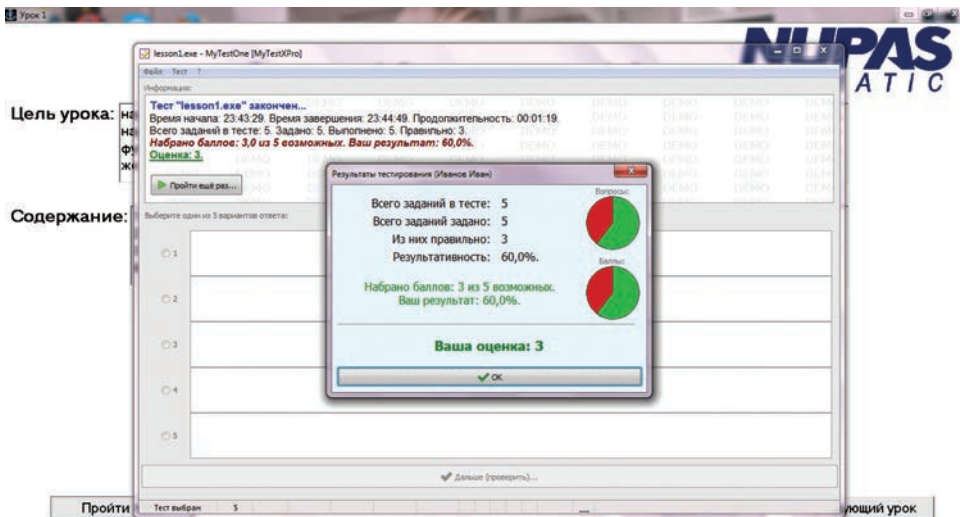


Рис. 8. Окно вывода результатов промежуточного тестирования

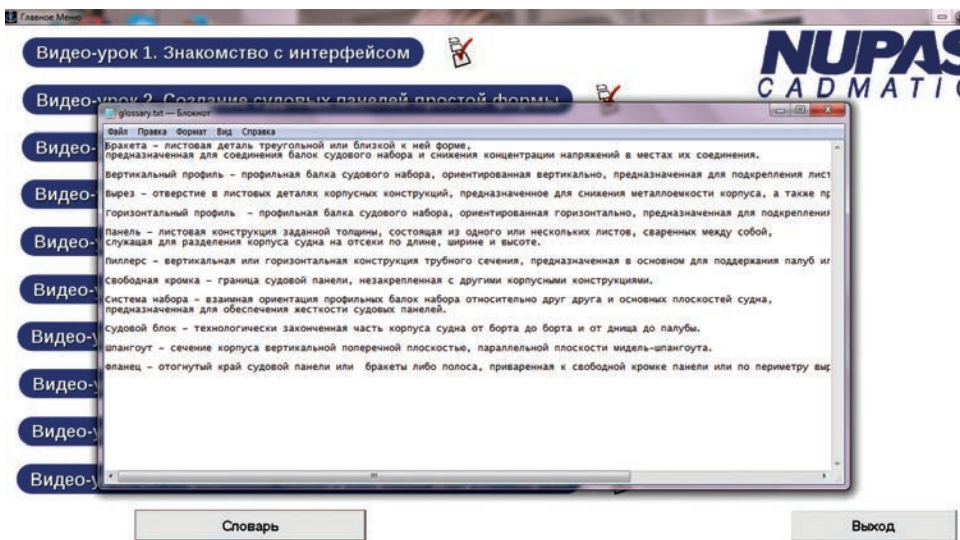


Рис. 9. Окно глоссария

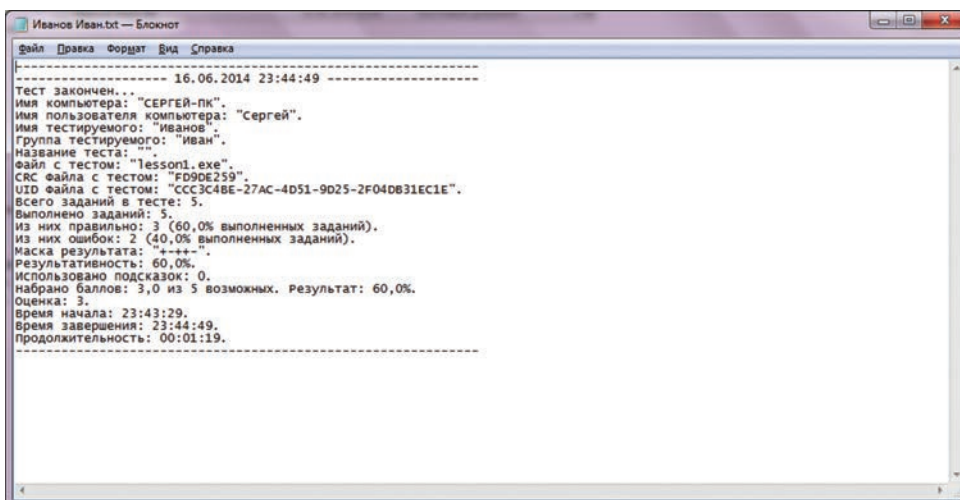


Рис. 10. Протокол прохождения тестов

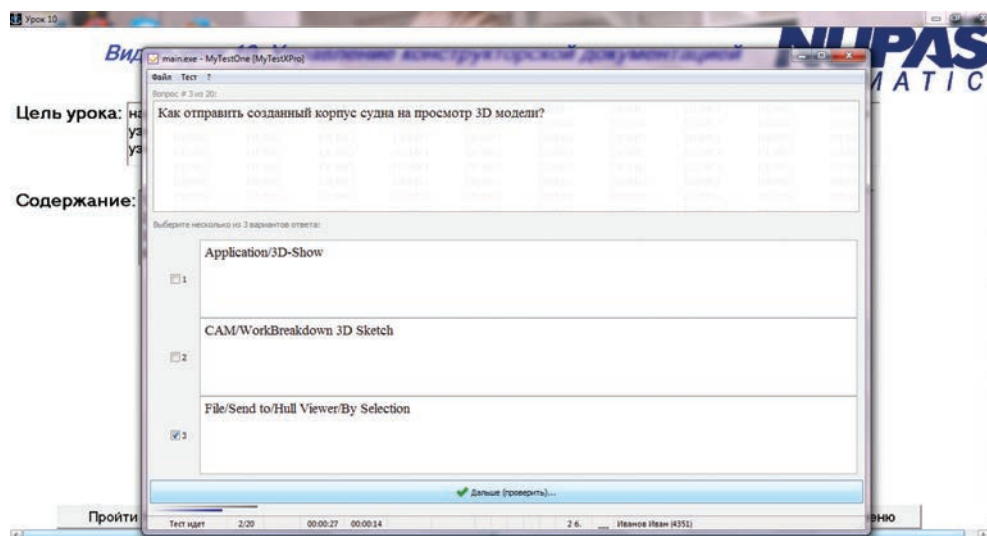


Рис. 11. Окно прохождения контрольного теста

Выводы. Анализ требований, предъявляемых к системе, позволил разработать специализированную компьютерную систему дистанционного обучения студентов основам корабельной инженерии и работе в среде САПР CADMATIC, позволяющую реализовать возможность удаленной работы, как во время карантинных мероприятий, так и в последующем.

Система позволяет повысить качество усвоенных знаний и эффективность восприятия информации за счет использования мультимедийных средств обучения и инструментов САПР CADMATIC, а

также сократить время на изучение материала, в том числе и время, затраченное преподавателем на представление информации и привитие практических навыков у обучающихся. Система может использоваться как студентами вузов, так и практикующими конструкторами в области проектирования судов.

Разработанное программное обеспечение компьютерной системы дистанционного обучения соответствует основным принципам разработки обучающих программ, а графический интерфейс пользователя отвечает принципам простоты и удобства использования программы.

Список литературы:

1. Архангельский А.Я. Программирование в Delphi : учебник по классическим версиям Delphi. Москва : Бином, 2006. 850 с.
2. Дистанционные методы обучения. Состояние, проблемы, перспективы. *Дайджест педагогических идей та технологій «Школа-парк»*. 2001. № 3–4. С. 81–103.
3. Применение мультимедийных средств обучения при преподавании основ корабельной инженерии. *Международный журнал об инновациях в судостроении «Судостроение и морская инфраструктура»* / Ю.Д. Жуков и др. Николаев: НУК, 2015. № 1 (3). С. 32–45.
4. Зайченко Т.П. Основы дистанционного обучения: Теоретико-практический базис : учебное пособие. Санкт-Петербург : Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2004. 167 с.
5. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования : учеб. пособие для студентов вузов / под. ред. Е.С. Полат. Москва, 2002. 272 с.
6. Трохименко В. Дистанційне навчання педагогічних працівників: досвід і проблеми. *Післядипломна освіта в Україні*. 2004. С. 29–32.
7. Судостроительная САПР Nupas-Cadmatic: взгляд на возможности. 2015. URL: http://www.remmag.ru/upload_data/files/2015-03/NCG.pdf (дата обращения: 09.11.20).

Haidai H.Yu., Hrieshnov A.Yu. STUDENTS DISTANCE LEARNING SPECIALIZED COMPUTER SYSTEM

The latest trends analysis in Ukraine and the world was carried out, which showed that at the moment software applications and services that allow learning remotely have become especially in demand, and the latest trends in the development of computer training systems make it clear that this kind of software products

are in demand, therefore their introduction into the educational process of higher educational institutions is the main task of teachers today. The main purpose of a specialized computerized distance learning system is to automate the process of teaching students and practicing designers the basics of ship engineering when working in the environment of a modern shipbuilding computer-aided design system CADMATIC. The main goals of the developed computer system are: improving the quality of information obtained in the learning process; reduction of time for study of educational material; free choice of time and place of study; creation of a unified system of reporting on learning indicators; ensuring the collection and primary processing of the initial information necessary for the preparation of reports on learning indicators. The specialized computer system contains the following subsystems: the multimedia training subsystem; the testing subsystem. The multimedia training subsystem is a systematized set of video lessons on the basics of ship engineering and training in the CADMATIC CAD environment. The testing subsystem consists of a systematized set of various types test items. There are two main types of tests in the program: intermediate and control (final). Thus, the analysis of the requirements for the system made it possible to develop a specialized computer system for distance learning of students in the basics of ship engineering and work in the CADMATIC CAD environment, which makes it possible to implement the possibility of remote work, both during quarantine activities and subsequently. The system allows you to improve the quality of acquired knowledge and the efficiency of information perception through the use of multimedia teaching aids and CADMATIC CAD tools, as well as reduce the time for studying the material, including the time spent by the teacher for presenting information and instilling practical skills in students. The system can be used both by university students and by practicing designers in the field of ship design. The developed software for the computer system of distance learning complies with the basic principles of developing training programs, and the graphical user interface meets the principles of simplicity and ease of use of the program.

Key words: CADMATIC CAD, automation, distance learning, multimedia course, laboratory work.

УДК 621.384.4
DOI

Гайдукевич С.В.

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
«Бережанський агротехнічний інститут»

Семенова Н.П.

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
«Бережанський агротехнічний інститут»

Леськів Я.А.

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
«Бережанський агротехнічний інститут»

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИМІЩЕНЬ ЗАКРИТОГО ГРУНТУ

Низька енергоефективність технологій та застаріле електрообладнання тепличного господарства призводить до надмірної витрати електроенергії. Усунути ці недоліки можна за рахунок зменшення обсягу технологічних втрат у результаті модернізації, автоматизації роботи електрообладнання та впровадження сучасних енергоефективних технологій.

У статті розглядається автоматизація роботи електрообладнання з метою підвищення ефективності в системах керування мікрокліматичними параметрами приміщень закритого ґрунту за рахунок зниження енерговитрат.

З урахуванням всіх факторів на алгоритмі керування роботою електрообладнання із забезпечення мікрокліматичного режиму приміщень закритого ґрунту розроблено автоматичну систему на основі комплексного підходу, який охоплює комунікаційні та інформаційно-управляючі технології та системи, сучасну елементну базу, програмне забезпечення, що дає можливість забезпечення точного і надійного підтримання параметрів мікроклімату, з урахуванням їх зовнішніх і внутрішніх змін, виконання цілодобового дистанційного керування процесами, контроль мікрокліматичних параметрів у будь-якій точці приміщення та їх моніторинг.

Принцип керування автоматичної системи вибирається автоматично програмованим логічним мікроконтролером на основі оброблення даних про значення температури або вологості в кожній зоні приміщення.

Розроблений та виготовлений пристрій на базі мікроконтролера повністю в автоматичному режимі керує всіма типами виконавчих систем теплиці із суворим лімітованим дотриманням усіх показників, що покращує функціональні можливості електрообладнання, підвищує надійність роботи, забезпечує необхідну точність параметрів мікроклімату.

У результаті досліджень встановлено, що використання запропонованого алгоритму роботи електрообладнання для забезпечення необхідних параметрів мікроклімату дозволяє знизити використання теплової енергії, а тим самим – зниження енерговитрат.

Ключові слова: мікроклімат, система автоматичного керування, параметри, закритий ґрунт.

Постановка проблеми. Актуальним питанням сьогодні є зниження енерговитрат у приміщеннях закритого ґрунту, оскільки овочівництво в залежності від різноманітних факторів не завжди буває прибутковим. Більша частина затрат витрачається на підтримання мікрокліматичних параметрів, які повинні постійно контролюватися і підтримуватися в суворо лімітованих межах, тому що незначні відхилення можуть призвести до незворотних наслідків. Це пов'язано з тим, що рослини, які являються біологічними

об'єктами в захищеному ґрунті, піддатливі до змін навколишнього середовища.

Тому основною задачею є виявлення і запобігання негативних наслідків внутрішніх і зовнішніх загроз за рахунок постійної готовності системи керування, що дозволяє реагувати на мінімальні зміни параметрів мікроклімату в приміщеннях закритого ґрунту. При цьому питання розроблення і дослідження систем автоматизації роботи електрообладнання вивчені недостатньо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз літературних джерел [1; 2], різноманітних наукових публікацій, а також власні дослідження показали, що точності регламентованих параметрів можна досягти завдяки використанню автоматизації систем регулювання, робота яких базується на застосуванні в них мікроконтролерів. Алгоритм функціонування таких систем оснований на відхиленні або збуренні регулюючої величини. Тому розробка таких систем, що здатні враховувати взаємний вплив параметрів мікроклімату в захищеному ґрунті, є немаловажним енергоощадним ресурсом у роботі електрообладнання.

Мета дослідження – зниження енерговитрат під час функціонування електрообладнання і систем автоматичного керування в приміщеннях закритого ґрунту для досягнення мікрокліматичних режимів, що вимагається нормативною документацією.

Виклад основного матеріалу дослідження.

У тепличному господарстві для вирощування біологічних об'єктів виконується велика кількість складних технологічних процесів, що пов'язано з використанням різноманітного електрообладнання, яке живиться електроенергією. Але застарілі системи автоматики не тільки призводять до величезних витрат, але й не задовольняють найпростіші вимоги агротехніки. Наприклад, для регулювання параметрів мікроклімату теплиць переважно використовуються традиційні промислові ПД – регулятори, хоча вони володіють тривалими перехідними процесами. Але якість перехідних процесів за великої інерційності каналу регулювання і сильних збурень може виявитися посередньою, що негативно впливає на роботу електрообладнання та не задовольняє вимоги, які пред'являються до систем автоматики на об'єктах захищеного ґрунту. Тому нині розробляються нові методики управління об'єктами автоматизації.

У зв'язку з подорожчанням електроенергії перед сучасними тепличними господарствами лежить найскладніша задача їх переозброєння з метою підвищення продуктивності виробництва та ефективності роботи електрообладнання. Тому, враховуючи складність процесу оптимізації мікроклімату, зумовлену наявністю багатьох збурюючих впливів і необхідністю безперервного контролю й управління об'єктом, ефективне функціонування таких систем можливо лише в разі їх автоматизації [3].

Оскільки сучасна автоматизація роботи електрообладнання для підтримання параметрів мікроклімату є основою максимального контролю і відслідковування всіх основних процесів

тепличного господарства, це дає можливість проводити цілодобове дистанційне керування і контролювання їхніх параметрів.

Режим мікроклімату класично поділяється на чотири показники: температура повітря, вологість повітря, освітленість і рівень вуглекислого газу. Для керування переліченими параметрами теплиці оснащуються відповідними виконавчими системами: системою опалення, вентиляції, опромінення рослин й освітлення і системою подачі вуглекислого газу. Ці системи повинні не тільки підтримувати основні показники оптимального мікроклімату, але й контролювати їх.

У лабораторії «Електротехнології» розроблений та виготовлений пристрій, що повністю в автоматичному режимі керує всіма типами виконавчих систем теплиці із суворим лімітованим дотриманням усіх показників. Принципіальна електрична схема пристрою представлена на рисунку 1. Серцем передбачених систем являється промисловий мікроконтролер, що має достатню кількість аналогових входів і дискретних виходів.

Використання мікропроцесорів та мікроЕОМ у складі промислового обладнання забезпечує зниження на порядок їх вартості в порівнянні із системами на елементах малого й середнього ступеня інтеграції, які реалізують аналогічні функції. Одночасно досягається різке зменшення маси й габаритних розмірів, а також енергоспоживання системи.

Існує безліч мікроконтролерів і мікропроцесорних пристроїв, призначених для програмування різних апаратних засобів, таких як: Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, Phidgets, MIT's Handyboard і багато інших. Всі ці пристрої мають схожу функціональність і покликані звільнити користувача від необхідності заглиблюватися в дрібні деталі внутрішньої будови мікроконтролерів, надавши йому простий і зручний інтерфейс для їх програмування.

Контролер теплиці складається з апаратно-обчислювальної платформи Arduino NANO на базі мікроконтролера ATmega328 (datasheet), адаптований для використання з макетної плати. Макетну плату, до якої припаяно Arduino NANO, було замовлено та виготовлено на заводі JLCPCB за власною розробкою студента Я.А. Леськівця (файл розробки у форматі Gerber) (рис. 2).

За функціональністю пристрій схожий на Arduino Duemilanove і відрізняється від нього розмірами, відсутністю рознімачу живлення, а також іншим типом (Mini-B) USB-кабелю. Платформу Arduino Nano розроблено і випущено фірмою Gravitech. Arduino Nano може живитися через

кабель Mini-B USB від зовнішнього джерела живлення з нестабілізованою напругою 6–20 В (через вивід 30) або зі стабілізованою напругою 5 В (через вивід 27). Пристрій автоматично вибирає джерело живлення з більшою напругою.

Напруга на мікросхему FTDI FT232RL подається тільки в разі живлення Arduino Nano через USB. Тому в разі живлення пристрою від інших зовнішніх джерел (НЕ USB) вихід 3.3 В (формований мікросхемою FTDI) буде неактивний,

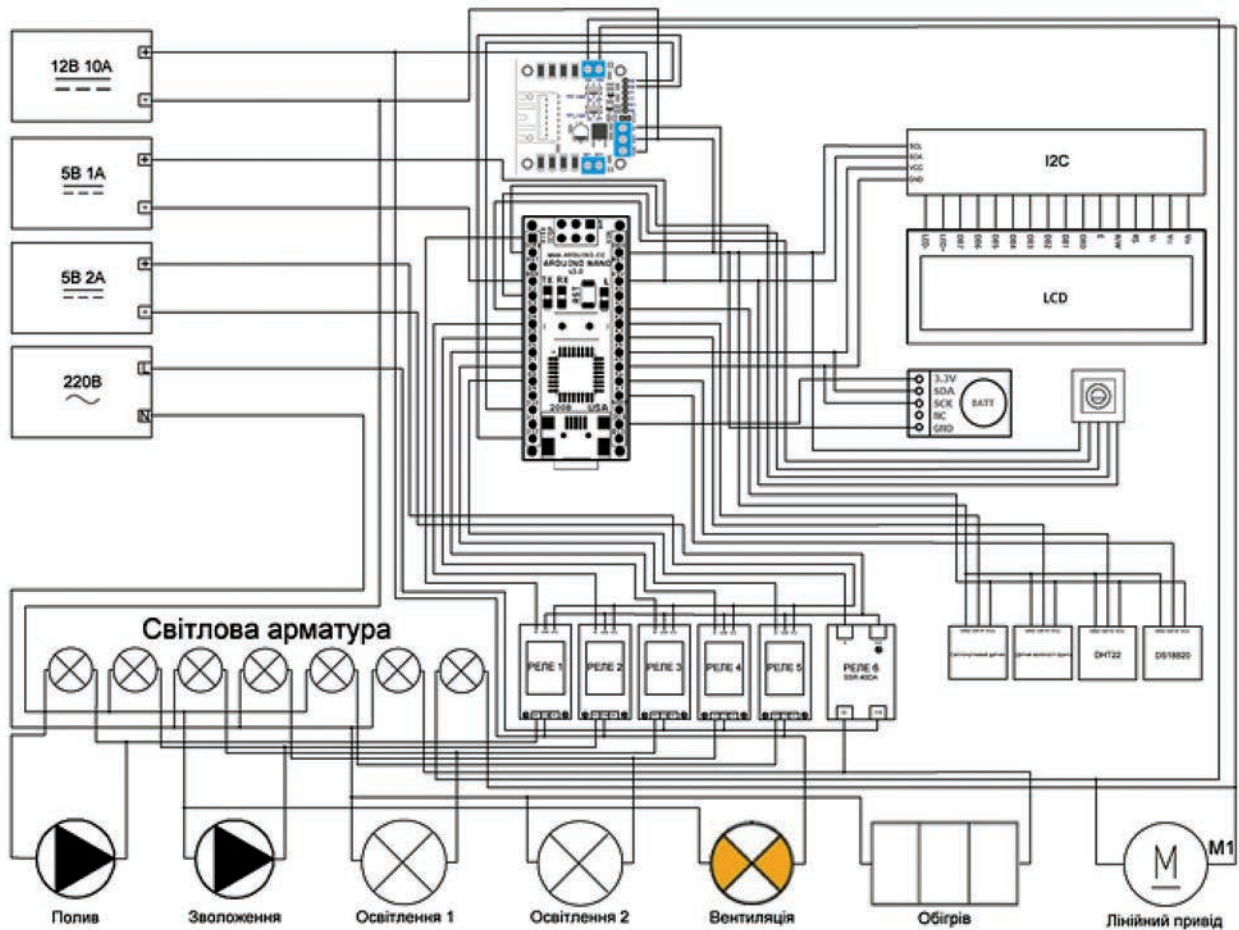


Рис. 1. Принципіальна електрична схема пристрою

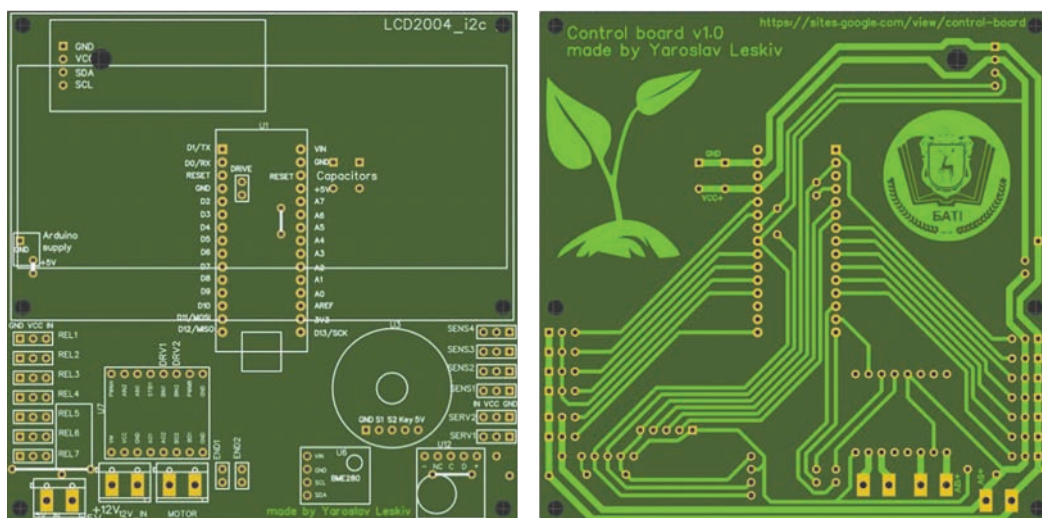


Рис. 2. Загальний вигляд розробленої плати

у результаті чого світлодіоди RX і TX можуть мерехтіти за наявності високого рівня сигналу на виводах 0 і 1.

Обсяг пам'яті програм мікроконтролера ATmega328 становить 32 КБ (з яких 2 КБ також відведені під завантажувач). Крім цього, ATmega328 – 2 КБ SRAM і 1 КБ EEPROM.

Arduino Nano надає низку можливостей для здійснення зв'язку з комп'ютером, ще одним Arduino або іншими мікроконтролерами. У ATmega328 є приймач UART, що дозволяє здійснювати зв'язок з послідовним інтерфейсом за допомогою цифрових виводів 0 (RX) і 1 (TX).

Мікросхема FTDI FT232RL забезпечує зв'язок приймача з USB-портом комп'ютера і під час підключення до персонального комп'ютера дозволяє Arduino визначитися як віртуальний COM-порт (драйвера FTDI включені в пакет програмного забезпечення Arduino). У пакет програмного забезпечення Arduino також входить спеціальна програма, що дозволяє зчитувати і відправляти на Arduino прості текстові дані. Під час передачі даних комп'ютера через USB на платі будуть мигати світлодіоди RX і TX. (За послідовної передачі даних за допомогою виводів 0 і 1 дані світлодіоди задіюються).

Бібліотека SoftwareSerial дозволяє реалізувати послідовний зв'язок на будь-яких цифрових виводах Arduino Nano.

У мікроконтролерах ATmega328 також реалізована підтримка послідовних інтерфейсів I2C (TWI) і SPI. У програмне забезпечення Arduino входить бібліотека *Wire*, що дозволяє спростити роботу з шиною I2C.

Arduino Nano програмується за допомогою програмного забезпечення Arduino. Для цього з меню *Tools > Board* необхідно вибрати «Arduino Duemilanove or Nano w / ATmega328» (у залежності від мікроконтролера на платі). ATmega328 в Arduino Nano випускається з прошитим завантажувачем, що дозволяє завантажувати в мікроконтролер нові програми без необхідності використання зовнішнього програматора. Взаємодія з ним здійснюється за оригінальним протоколом STK500. Проте мікроконтролер можна прошити і через рознімач ICSP (In-Circuit Serial Programming), не звертаючи уваги на завантажувач.

Щоб кожного разу перед завантаженням програми не було потрібно натискати кнопку скидання, Arduino Nano спроектований таким чином, що дозволяє здійснювати його скидання програмно з підключеного комп'ютера. Один із виходів мікросхеми FT232RL, який бере участь

в управлінні потоком даних (DTR), з'єднаний з виходом RESET мікроконтролера ATmega168 або ATmega328 через конденсатор номіналом 100 нФ. Коли на лінії DTR з'являється нуль, вихід RESET також переходить у низький рівень на час, достатній для перезавантаження мікроконтролера. Дана особливість використовується для того, щоб можна було прошивати мікроконтролер всього одним натисканням кнопки в середовищі програмування Arduino. Така архітектура дозволяє зменшити таймаут завантажувача, оскільки процес прошивки завжди синхронізований зі спадом сигналу на лінії DTR.

Однак ця система може призводити й до інших наслідків. У разі підключення Arduino Nano до комп'ютерів, що працюють на Mac OS X або Linux, його мікроконтролер буде скидатися за кожного з'єднання програмного забезпечення з платою. Після скидання на Arduino Nano активізується завантажувач на час близько 0,5 секунди. Незважаючи на те, що завантажувач запрограмований ігнорувати сторонні дані (тобто всі дані, які не стосуються процесу прошивки нової програми), він може перехопити кілька перших байт даних із посилки, що відправляється платі відразу після установки з'єднання. Відповідно, якщо в програмі, що працює на Arduino, передбачено отримання від комп'ютера будь-яких налаштувань або інших даних під час першого запуску, необхідно переконатися, що програмне забезпечення, з яким взаємодіє Arduino, здійснює відправку через секунду після установки з'єднання.

Система, зібрана на платі Arduino, яка складається з приладового та програмного забезпечення, дозволяє керувати всіма процесами в теплиці (рис. 3). Причому всі параметри мікроклімату керуються без взаємного впливу один на одного, тобто за одноконтурною схемою, яка містить тільки один вимірювальний перетворювач і забезпечує оброблення тільки одного вхідного сигналу на керуючий пристрій.

Сигнали на виконавчі механізми передаються через твердотільні або напівпровідникові реле, що призначені для безконтактної комутації нагрівальних елементів, ламп розжарювання та інших електричних з активним (резистивним) навантаженням (за дотримання особливих умов і для навантаження індуктивного характеру) і робочою напругою живлення від 24 до 380 В змінного струму. У твердотільних реле комутація кіл навантаження здійснюється безконтактно за рахунок комутації вбудованих напівпровідникових елементів.

У контролері теплиці, щоб знати точний час, використано модуль реального часу RTC (Real Time Clock). Даний модуль відраховує точний час і може зберігати його навіть у разі відключення основного живлення за використання резервного живлення (батарея CR2032 або літій-іонний акумулятор LIR2032-3,6 В), якого вистачить на кілька років.

Регулювання насосом подачі води на полив біологічних об'єктів здійснюється за допомогою датчика вологості ЕМ. Ввімкнення і вимкнення ґрунтових нагрівних елементів здійснюється за допомогою датчика ЕТ, який розміщений безпосередньо в ґрунті на нагрівній системі, а ввімкнення і вимкнення електрокалорифера здійснюється за допомогою датчика, який вимірює температуру повітря ЕТ. Режим роботи налаштовується за допомогою перемикача режимів роботи. Робота вентиляторів контролюється регулятором температури за допомогою датчика, який вимірює температуру в приміщенні теплиці.

Датчик температури DS18B20 працює з Arduino по протоколу передачі даних 1-Wire® і дозволяє підключатися кільком датчикам на одну шину.

Датчики підключаються до Arduino двома варіантами: зовнішнє підключення (по трьох проводах); паразитне підключення (по двох проводах). Кожний датчик температури має унікальну 64-бітну адресу пристрою, за якою можна приєднати датчик і зчитувати з нього значення температури. Для роботи з датчиком використовувалася бібліотека Dallas Temperature, оскільки вона більш зручна і практична.

Пристрій живиться трьома блоками живлення:

– перший блок для живлення логіки контролера (5 В/1А);

– другий блок для живлення реле, сервоприводу і датчиків (5 В/2А);

– третій блок для живлення лінійного приводу помпи (12 В/3А).

Можна було використати один загальний блок живлення на 5 В, але для кращої роботи контролера живлення було розділено.

Після подачі живлення відкривається стартове меню DEBUG, в якому є:

- показники з усіх датчиків;
- стан усіх каналів, тобто яке реле замкнуте, а яке – ні;
- стан сервоприводу, на який кут (у градусах) обернений сервопривод;
- стан лінійного приводу (відритий чи закритий);
- поточний час (ГГ:ХХ:СС);
- день тижня;
- скільки пройшло часу з останнього ввімкнення.

Основним органом управління є енкодер, за допомогою якого, переміщаючи курсор вибору по пунктах меню, можна вибирати потрібний режим роботи.

Зазвичай режим мікроклімату в теплицях моніторять протягом доби за фазами росту рослин з урахуванням особливостей вирощування культур і сортів. Вимірювання окремих змінних і визначення параметрів проводять у режимі реального часу [4].

На екрані налаштування показані всі поточні положення реле (рис. 4), приводів і покази датчиків. У разі обертання рукоятки перемикачу на екрані налагодження послідовно перегортаються добові графіки показів датчиків: температура повітря, вологість і покази з аналогових датчиків. Поділки на графіку мають крок 1,6 години. На екрані сервісу можна керувати будь-яким каналом у ручному режимі, за активного екрану сервісу автоматика не працює, тоді система знаходиться

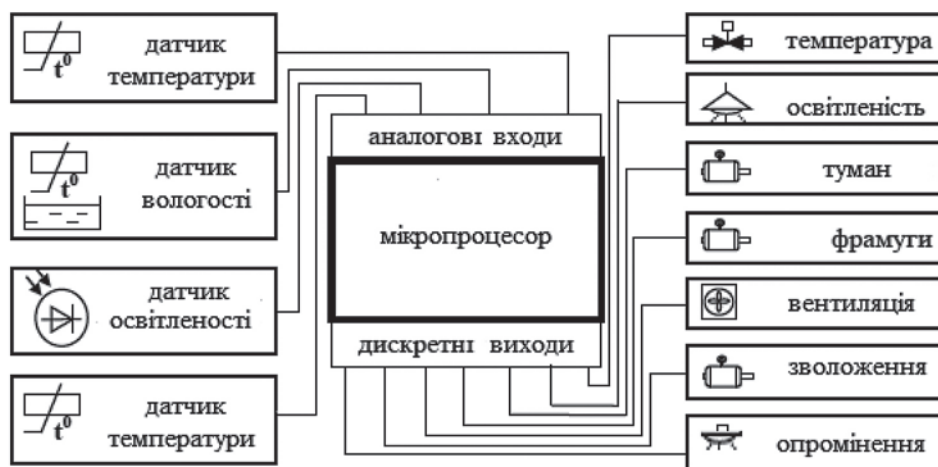


Рис. 3. Структурна схема керування мікрокліматом теплиці

повністю в ручному режимі. Поворотом рукоятки можна вибрати потрібний канал, положення сервопривода або налаштування поточного часу й утриманим поворотом її змінювати.



Рис. 4. Загальний вигляд розробленого і виготовленого пристрою

Якщо вмикати систему із затиснутою рукояткою енкодера, відбувається скидання налаштувань каналів і режимів, причому прошивка зберігається.

За допомогою розробленого та виготовленого пристрою повністю автоматизується робота електрообладнання теплиці, причому керування проходить у широких межах, як в автоматичному, так і в ручному режимах.

Інформація з усіх датчиків потрапляє на мікропроцесор, так званий обчислювальний цент, а потім виводиться на індикатор і у свою чергу передається до вищого рівня виконавчих механізмів, причому здійснюється строгий контроль параметрів.

Для проведення повної оцінки роботи електрообладнання розробленої системи керування

мікрокліматом, заснованої на запропонованих у справжній роботі інновацій, проводилися дослідження на макеті теплиці. Аналіз досліджень показав, що розроблена автоматична система, яка ґрунтується на нових інтелектуальних інформаційних технологіях і сучасній елементній базі, враховуючи багатофакторність та нелінійність мікрокліматичних параметрів, підвищує енергоефективність теплиць унаслідок автоматизації роботи електрообладнання, тим самим зменшуючи обсяг технологічних і невиробничих втрат енергоресурсів та підвищуючи надійність.

Висновки. Аналіз експериментальних досліджень дозволив розробити алгоритм функціонування програмуючих контролерів, котрі мають можливість більш ефективно витратити енергоресурси на створення мікрокліматичних режимів у спорудах закритого ґрунту, що дозволило знизити використання теплової енергії на 10,4%, а тим самим знизити енерговитрати.

На сучасній мові програмування розроблено програму для логічних контролерів з метою автоматичного керування роботою електрообладнання теплиці та визначення мікрокліматичних параметрів у будь-якій точці приміщення, що призвело до точності роботи системи.

Розроблена автоматична система в умовах реального часу дозволяє створювати енергоефективну базу автоматизації роботи електрообладнання для функціонування в тепличному господарстві.

Використання мікропроцесора у складі автоматичної системи керування покращує функціональні можливості обладнання, систем управління, значно підвищує надійність їхньої роботи, що в кінцевому результаті позитивно відображається на якості продукції.

Список літератури:

1. Токманов Н.М. Особенности управления микроклиматом в ангарных теплицах. *Гавриши*. Москва. 2007. № 7. С. 24–28.
2. Мартыненко И.И., Гирнык Н.Л., Полищук В.М. Автоматизация управления температурно-влажностным режимом сельскохозяйственных объектов. Москва : Колос, 1984. 152 с.
3. Діордієв В.Т., Кашкар'єв А.О., Діордієв О.О. Автоматизована система моніторингу та керування мікрокліматом у теплиці. *Матеріали науково-технічної конференції студентів та магістрантів. Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь, 2018. Вип. 8. Т. 2.
4. Віхрова Л.Г., Каліч В.М., Прокопенко Т.О. Адаптивна автоматизована система збору та контролю основних параметрів мікроклімату в теплиці. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. Кіровоград, 2016. Вип. 29. С. 168–172.
5. URL: wikiwand.com/uk/Arduino

Haidukevych S.V., Semenova N.P., Leskiv Ya.A. INCREASE OF EFFICIENCY IN CONTROL SYSTEMS BY PARAMETERS OF MICROCLIMATE OF APARTMENTS OF THE CLOSED SOIL

Low energy efficiency of technologies and out-of-date electrical equipment brings electric power over to the surplus expense. Removing these failings is possible due to diminishment of volume of technological losses as a result of modernization of greenhouses, automation of work of electrical equipment and introduction of modern energy efficient technologies.

The article considers the automation of work of electrical equipment in order to increase efficiency in the control systems of microclimatic parameters of indoor areas closed reducing energy consumption.

Taking into account all factors on the algorithm of management by work of electrical equipment after providing the microclimatic mode of apartments of closed ground is developed automatic system on the basis of complex approach, which engulfs of communications and informatively-managing technologies and systems, modern element base, software, that enables providing of exact and reliable support of parameters of microclimate, taking into account their external and internal changes, implementation of round-the-clock remote process control, control of microclimatic parameters in the dear point of apartment and their monitoring.

Principle of management of the automatic system is elected by automatically programmable-logical microcontroller on the basis of the data processing about the value of temperature or humidity in every area of the apartment.

The developed and manufactured device based on microprocessor fully automatically controls all types of greenhouse executive systems with strict limited compliance with all indicators, which improves the functionality of electrical equipment, increases reliability, provides the necessary accuracy of microclimate parameters.

The analysis of researches has shown that use of the offered algorithm of work of the electric equipment for maintenance of necessary parameters of a microclimate allows to reduce use of thermal energy and by that reduction of energy consumption.

Key words: *microclimate, automatic control system, parameters, protective soil.*

УДК 004.056
DOI

Довжик Д.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Потапова К.Р.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИКОРИСТАННЯ НАЦІОНАЛЬНИХ ЗАСОБІВ КРИПТОГРАФІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ШИФРУВАННЯ БЛОКІВ БЛОКЧЕЙНУ

Стаття присвячена аналізу національних стандартів шифрування даних для використання у технології блокчейн. Blockchain (chain of block) – це розподілена база даних, у якій пристрої зберігання даних не підключені до загального сервера. Вона зберігає постійно зростаючий список упорядкованих записів, званих блоками, що спеціальним чином шифруються і зберігаються на всіх вузлах мережі в одному і тому самому вигляді. Ця технологія була винайдена і розроблена Сатоші Накамото у 2008 р. Спочатку блокчейн існував як основна частина цифрової валюти – Bitcoin, але згодом цю технологію почали використовувати і в інших галузях. Позитивні якості системи сприяли її подальшому проникненню в економіку, і зараз блокчейн застосовують у банківській сфері, державному управлінні, юриспруденції та інших сферах. Дедалі популярнішим стає використання технології блокчейн для задач, у яких надійність і захищеність даних є основними критеріями. У роботі розглянута структура блоку блокчейну та поняття електронно-цифрового підпису, що використовується для криптографічного перетворення даних блоку і забезпечує їхню цілісність та ідентифікацію автора. Електронно-цифровий підпис ґрунтується на використанні алгоритму шифрування даних і функції гешування. Будь-яке програмне забезпечення, котре займається шифруванням інформації (особливо користувацької), повинне відповідати державним стандартам. Тому в роботі розглянута функція гешування Купина, визначена у національному стандарті криптографічного захисту інформації ДСТУ 7564:2014, та алгоритм симетричного блокового перетворення Калина, визначений у стандарті ДСТУ 7624:2014. Разом вони можуть використовуватися для гешування блоку у блокчейн-технологіях із метою розробки державних блокчейн-систем, придатних для захисту інформації у межах нашої країни.

Ключові слова: блокчейн, захист інформації, функція гешування, шифрування, криптографічне перетворення, електронний цифровий підпис, блочний симетричний шифр.

Постановка проблеми. Нині в усьому світі активно досліджується технологія блокчейн (Blockchain), а саме переведення на систему блокчейну державних реєстрів (зокрема державної реєстрації прав на нерухоме майно), нотаріальної діяльності, зберігання державних даних, проведення земельних аукціонів, електронного майданчика торгівлі арештованим майном (СЕТАМ), Державного земельного кадастру, банківської сфери, проведення голосування та ін. Серед галузей, де насамперед планується використання системи блокчейн, – держреєстри, ЖКГ, соціальне страхування, охорона здоров'я й енергетика.

Водночас відсутність чіткого закріплення цієї категорії в національному законодавстві свідчить про необхідність її дослідження. Відсутність законодавчої бази також тягне за собою безліч сумнівів учасників ринку. Для того, щоб компанії довіряли новим технологіям, вони повинні відповідати стандартам, як мінімум державним.

Блокчейн (chain of block) – це розподілена база даних, у якій пристрої зберігання даних не підключені до загального сервера. Вона зберігає постійно зростаючий список упорядкованих записів, званих блоками, що спеціальним чином шифруються і зберігаються на всіх вузлах мережі в одному і тому самому вигляді. Кожен блок містить мітку часу та посилання на попередній блок геш-дерева. Така розподілена база даних закладена в основу крито-валюти Біткоїн та інших, де слугує бухгалтерською книгою для всіх операцій [1].

Саме етап шифрування блоків вимагає використання криптографічних алгоритмів, які можуть вирішити такі проблеми, як безпека, висока доступність і швидкість виконання транзакцій. Ці криптографічні алгоритми повинні відповідати стандартам криптографічного захисту інформації в Україні для можливості використання у державних структурах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Концепція першого блокчейну була розроблена

у 2008 р. людиною (або групою людей), відомою як Сатоши Накамото. Було описано Біткоїн – протокол електронних платежів для однорангової мережі (peer-to-peer network, P2P). Цей протокол базується на функції гешування SHA-256 (Secure Hash Algorithm), що є розробкою Агентства національної безпеки США й увійшла у стандарт RFC 4634 [2] «Безпечні геш-алгоритми США (SHA і HMAC-SHA)», що з'явився у 2006 р. Нині геш-функція SHA-256 є найпоширенішою у використанні для реалізації блокчейн-технології. Також відомим алгоритмом гешування є MD5 (Message Digest 5), розроблений у 1991 р. та описаний в американському стандарті RFC 1321 [3]. У 2009 р. підрозділ Національного управління кібербезпеки США рекомендував відмовитися від застосування цього алгоритму через виявлені властивості. Відповідний документ RFC 6151 «Зауваження щодо безпеки MD5 Message-Digest та HMAC-MD5 алгоритмів» було опубліковано в березні 2011 р., що визнає алгоритм гешування MD5 небезпечним і рекомендує відмовитися від його використання [4]. У 2020 р. MD5 все ще широко використовується, незважаючи на свої вразливості.

В Україні майже двадцять років як основна криптографічна геш-функція використовувався міждержавний стандарт ДСТУ ГОСТ 34.311-95 (російський ГОСТ Р 34.11-94) [5]. Однак у 2008 р. стали відомі теоретичні криптоаналітичні атаки [6], що унеможливило його подальше використання попри забезпечення практичної стійкості. До того ж ДСТУ ГОСТ 34.311-95 не відповідає сучасним вимогам із погляду швидкодії реалізації на сучасних програмних платформах загального призначення. На заміну застарілому стандарту розроблена геш-функція Купина, яка введена у дію у 2014 р. та широко використовується для забезпечення криптографічного захисту на національному рівні.

Купина є криптографічною геш-функцією, визначеною національним стандартом ДСТУ 7564:2014 «Інформаційні технології. Криптографічний захист інформації. Функція гешування» [7]. Цей стандарт прийнятий наказом Мінекономрозвитку від 2 грудня 2014 р. № 1431.

Постановка завдання. Метою статті є розгляд теоретичних основ технології блокчейн та аналіз можливості застосування національних стандартів криптографічного захисту інформації для основних компонентів блокчейну: алгоритму шифрування даних у блоці та функції гешування блоку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Блокчейн – це один із видів розподіленого збері-

гання даних, що використовує три раніше відомі технології: однорангові мережі, шифрування і бази даних. База даних є ланцюжком блоків, який спеціальним чином шифрується і зберігається на всіх вузлах мережі в одному і тому самому вигляді. Одним із базисів блокчейну є зв'язки між блоками за рахунок криптографії, тому, як наслідок, практично неможливо підірвати інформацію у блоках.

Технологія блокчейн включає в себе 5 етапів:

1) Запит на здійснення транзакції в мережу. Користувач, котрий бажає відправити дані іншому користувачеві, формує транзакцію і відправляє її в мережу. Система створює унікальний ключ для доступу до відправлених даних. Цей ключ відправник передає отримувачу.

2) Обробка транзакції та складання з неї нового блоку. Дані про транзакції обробляються системою і формуються у блок, що містить зашифровану від інших користувачів інформацію.

3) Розсилка нового блоку всім учасникам. Система знаходиться одночасно у всіх користувачів, причому копії постійно перевіряються на відповідність раніше внесеної у базу інформації. Нові дані одночасно передаються в усі екземпляри бази для перевірки.

4) Внесення нового блоку в усі екземпляри блокчейну. Якщо в ході перевірки блок буде визнаний відповідним, він внесеться в усі копії та доповнить вже наявний ланцюжок. Система дасть унікальний цифровий підпис, за яким новий блок можна буде відстежити. Якщо система визнає блок неправильним, то він не вноситься в інші копії, тож транзакція не відбудеться.

5) Завершення операції. Після того, як новий блок буде створено, одержувач зможе отримати відправлену інформацію, скориставшись переданим платником унікальним ключем.

У найпростішому вигляді база даних (БД) є ланцюжком блоків, яка може бути представлена у вигляді файлу формату JSON.

Структура блоку:

– кожен блок складається з адреси, дати та часу створення, гешу і списку транзакцій (рис. 1);
– адреса – публічний ключ, що генерується алгоритмом шифрування на основі вигаданого користувачем приватного ключа;

– дата і час – час створення транзакції (блоку);
– геш (сполучний) – обчислюється за допомогою функції гешування від адреси попереднього блоку і суми гешів всіх транзакцій поточного блоку. Геш є сполучним, тому що при його обчисленні враховується адреса попереднього блоку;

– інформація – повідомлення, сума грошей (криптовалюта), документи, історія хвороб, програмний код (смарт контракти) та ін.

Електронний цифровий підпис. Щоб інформацію всередині транзакцій неможливо було підробити, кожна транзакція всередині блоку підписується електронним цифровим підписом (ЕЦП).

Електронно-цифровий підпис – це послідовність байтів, яка формується шляхом перетворення інформації за криптографічним алгоритмом і призначена для перевірки авторства електронного документа.

ЕЦП ґрунтується на використанні блочного шифрування та геш-функцій.

Алгоритм створення підпису інформації (документа). Для створення підпису необхідні:

- алгоритм шифрування (блочний симетричний шифр Калина);
- геш-функція (криптографічна геш-функція Купина);
- інформація, що повинна бути передана.

Стандарт ДСТУ 7624:2014 [8] визначає сучасний блоковий шифр Калина та режими його роботи для приховування смислового вмісту і запобігання несанкціонованої модифікації повідомлень. Шифр є гнучким і підтримує розмір блоку і довжину ключа аж до 512 бітів. Це єдиний у світі стандарт блочного шифрування, що підтримує такий рівень безпеки. Для порівняння, широко поширений AES забезпечує максимальну довжину ключа 256 біт. Водночас у програмній реалізації на більшості сучасних 64-бітових настільних і серверних платформ за однакових довжин ключів Калина має більш високу продуктивність, ніж AES.

ДСТУ 7624:2014 задає десять режимів роботи блокового шифру. Міжнародний стандарт ISO/IEC10116 має тільки шість режимів (вони є і в національному стандарті України). Додаткові режими надають більше можливостей українським розробникам засобів криптографічного захисту інформації порівняно з колегами із країн регіону та всієї Європи загалом.

Шифр Калина – високостійкий і швидкий симетричний шифр, орієнтований на сучасні продуктивні апаратні платформи.

У стандарті ДСТУ 7564:2014 визначена функція гешування Купина, що забезпечує високостійке і гнучке криптографічне перетворення. Вона використовується і як незалежний стандарт при забезпеченні цілісності, і як додаткове перетворення у складі цифрового підпису.

Геш-функція Купина має ключову властивість, яка відрізняє її від інших алгоритмів формування гешу. Купина може бути використана в технологіях блокчейн, що враховують динамічність геш-функції, і динамічною є не тільки сама функція, а й довжина виходу геш-функції.

Динамічність виходу геш-функції не впливає на кількість транзакцій, які входять у блок, у разі використання динамічного розміру блоку, але покращує криптографічні властивості блокчейну, такі як криптостійкість.

Для прикладу, довжина виходу геш-функції SHA-2, що зараз використовується у Bitcoin, передбачає тільки 4 можливі значення довжини виходу, а саме 224, 256, 384 або 512 біт, тоді як Купина передбачає 64 можливі довжини виходу: {8, 16, ..., 256, 264, ..., 504, 512}.

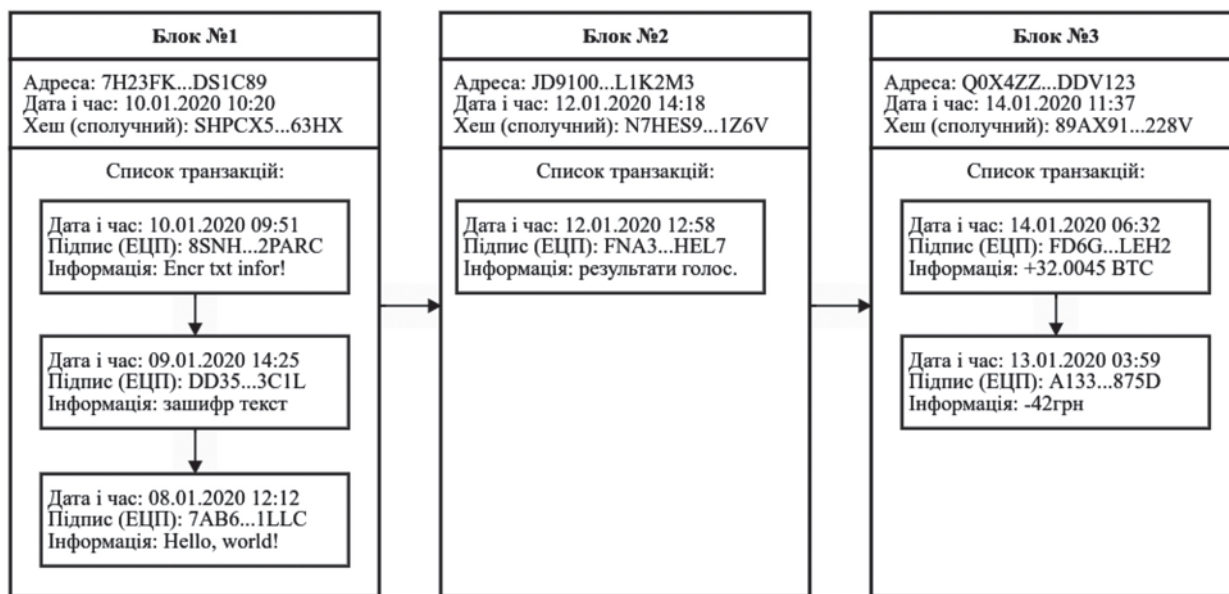


Рис. 1. Приклад системи блокчейн із трьох блоків

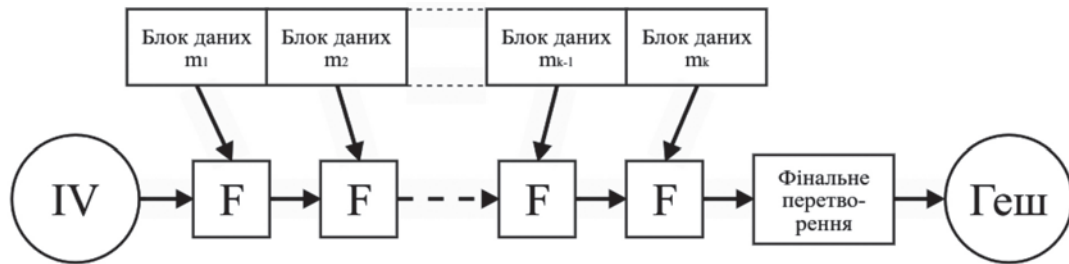


Рис. 2. Загальна структурна схема геш-функції

Функція Купина – це ітеративна геш-функція, заснована на архітектурі Меркле-Дамгора [9]. Вона використовує функцію стиснення Девіса-Мейєра, побудовану на основі конструкції блокового шифру Івена-Мансура [10]. Геш-функція Купина побудована на функції стиснення, що складається із двох фіксованих перестановок, структура яких запозичена у шифру «Калина», та за структурою є підстановлювально-перестановочною мережею, яка відповідає стратегії дизайну AES. Результатом роботи геш-функції є бітова послідовність від 8 до 512 біт. Варіант, що повертає n біт, позначається як Купина- n . Основними режимами роботи функції гешування, рекомендованими до застосування, є Купина-256, Купина-384 і Купина-512.

Основні характеристики конструкції геш-функції Купина. На вхід функції гешування подається повідомлення M як бітова послідовність довжини N . Далі повідомлення завжди доповнюється за певними правилами до довжини, кратної розміру блоку, та поділяється на блоки m_1, m_2, \dots, m_k довжиною l біт кожен, де l визначається відповідно до розміру геш-значення $n, n \in \{8 \cdot s \mid s = 1, 2, \dots, 64\}$:

$$l = \begin{cases} 512 & \text{для } 8 \leq n \leq 256, \\ 1024 & \text{для } 256 < n \leq 512. \end{cases}$$

Максимальна довжина повідомлення, що може бути оброблене, становить $(2^{96} - 1)$ біт.

Обчислення геш-значення відбувається за такою ітеративною процедурою [11]:

$$h_0 = IV,$$

$$h_v = T_l^\oplus(h_{v-1} \oplus m_v) \oplus T_l^+(m_v) \oplus h_{v-1}, v = 1, 2, \dots, k,$$

$$H(IV, M) = R_{l,n}(T_l^\oplus(h_k) \oplus h_k),$$

де IV – вектор ініціалізації довжиною l біт, T_l^\oplus, T_l^+ – бієктивні перетворення, що виконують відображення вхідного блоку довжиною l біт у вихідний такої самої довжини, $R_{l,n}(x)$ – функція, що повертає n старших біт із вхідного блоку x довжиною l біт ($n < l$), де результат записується в молодші n біт обчисленого значення. На рис. 2

наведена структурна схема геш-функції Купина у загальному вигляді.

Як видно, функція стиснення F використовує дві перестановки T_l^\oplus та T_l^+ і обчислюється таким чином:

$$F(m, h) = T_l^\oplus(h \oplus m) \oplus T_l^+(m) \oplus h.$$

Тоді на k -му кроці $h_k = F(m_k, h_{k-1})$, причому $h_0 = IV$. Графічне представлення структури функції стиснення наведено на рис. 3.

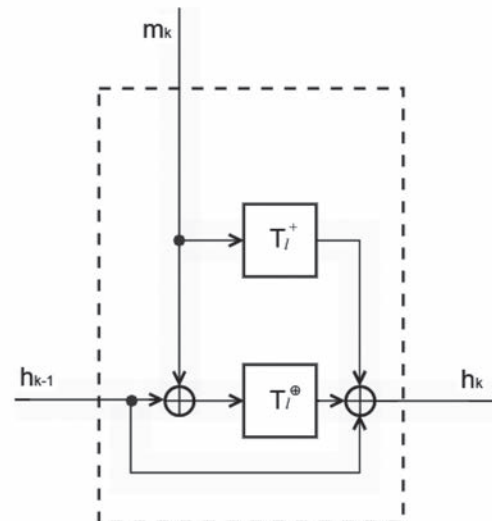


Рис. 3. Структура функції стиснення геш-функції Купина

Купина та Калина уніфіковані, тобто використовують єдиний набір підстановок і матриць лінійного перетворення, що додатково збільшує ефективність систем криптографічного захисту на їх основі. Купина, як і Калина використовує підхід доказової стійкості (*provable security*) при обґрунтуванні властивостей, що є додатковою перевагою ДСТУ 7564 над SHA-256, де така властивість відсутня. Водночас забезпечення доказової стійкості призводить до зниження швидкості перетворень Купини порівняно із SHA-256.

Висновки. Відразу після введення в дію стандартів Купина і Калина були опубліковані англійською мовою і представлені на міжна-

родних конференціях за межами України. Були отримані незалежні результати дослідників із Канади, США, Австрії, Індії та інших країн, що підтверджують стійкість криптографічних перетворень. ДСТУ 7624 і ДСТУ 7564 були включені до складу програмних бібліотек, які розробляються за межами України, наприклад, CRYPTO++.

Тому можна розглянути питання впровадження блочного симетричного шифру Калина та геш-функції Купина, описані у національних стандартах криптографічного захисту інформації, у блокчейн-технологіях, з метою розробки державних блокчейн-систем, придатних для захисту інформації у межах нашої країни.

Список літератури:

1. Dovzhyk D., Potapova K., Online-voting system based on blockchain technology. *Priority directions of science and technology development* : Abstract of the 2-nd International scientific and practical conference. SPC “Sci-conf.com.ua”. Kyiv, Ukraine. 2020. P. 248–249.
2. Стандарт RFC-4634 «Безпечні геш-алгоритми США (SHA і HMAC-SHA)». URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc4634>.
3. The MD5 Message-Digest Algorithm. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc1321>.
4. Updated Security Considerations for the MD5 Message-Digest and the HMAC-MD5 Algorithms. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc6151>.
5. ГОСТ Р 34.11–94. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Функция хэширования. Введ. 01–01–1995. Москва, 1994. 20 с.
6. Mendel F., Pramstaller N., Rechberger Ch., et al. Cryptanalysis of GOST hash function: report. *Advances in Cryptology*. 2008. URL: <https://iacr.org/archive/crypto2008/51570163/51570163.pdf>.
7. Держспецзв'язку впроваджує нові стандарти криптографічного захисту інформації. URL: http://www.dsszzi.gov.ua/dsszzi/control/uk/publish/article?art_id=120158&cat_id=119123.
8. ДСТУ 7624:2014. Інформаційні технології. Криптографічний захист інформації. Алгоритм симетричного блокового перетворення. Введ. 01–07–2015. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015.
9. Merkle R.C. Secrecy, authentication, and public key systems, Department of Electrical Engineering, Stanford University, 1979. P. 13–15.
10. Black J., Rogaway P., Shrimpton T. Blak-box analysis of the block-cipher-based hash-function constructions from pgv. *Advances in Cryptology*. August 18–22, 2002. Proceedings. Vol. 2442. *Lecture Notes in Computer Science*. 2002. P. 320–335.
11. ДСТУ 7564:2014. Інформаційні технології. Криптографічний захист інформації. Функция гешування. Введ. 01–04–2015. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015.

Dovzhyk D.V., Potapova K.R. USE OF NATIONAL FACILITIES OF CRYPTOGRAPHIC PROTECTION OF INFORMATION FOR ENCRYPTION OF BLOCKCHAIN BLOCKS

The article is devoted to the analysis of national data encryption standards for use in blockchain technology. Blockchain (chain of block) it is a distributed database in which storage devices are not connected to a shared server. This database maintains an ever-growing list of ordered records, called blocks, that are specially encrypted and stored on all network nodes in the same form. This technology was invented and developed by Satoshi Nakamoto in 2008. Initially, the blockchain existed as the main part of the digital currency – Bitcoin, but later this technology began to be used in other industries. The positive qualities of the system contributed to its further penetration into the economy and now the blockchain is used in banking, public administration, jurisprudence and other areas. The use of blockchain technology for tasks in which reliability and data security are the main criteria is becoming increasingly popular. The paper considers the structure of the blockchain block and the concept of electronic-digital signature, which is used for cryptographic transformation of block data and ensures their integrity and author identification. The electronic digital signature is based on the use of a data encryption algorithm and a hashing function. Any software that encrypts information (especially user information) must comply with national standards. Therefore, the paper considers the Kupyna hashing function, which is defined in the national standard of cryptographic information protection NSTU 7564:2014, and the Kalyna symmetric block transformation algorithm, defined in the standard NSTU 7624:2014. Together, they can be used for blockchain block hashing, in order to develop state blockchain systems suitable for information protection within our country.

Key words: blockchain, information protection, hashing function, encryption, cryptographic transformation, electronic digital signature, symmetric block cipher.

УДК 681.58
DOI

Захарченко А.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Степанець О.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЬНО-ПРОГНОЗУЮЧОГО КЕРУВАННЯ В АВТОМАТИЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬ¹

У статті розглядається питання використання підходу модельно-прогнозного керування (*Model Predictive Control – MPC*) для оптимізації складних процесів, які відбуваються в будівлі. Було розглянуто принцип роботи автоматичної системи керування будівлею з використанням MPC та основні параметри, що використовує MPC, їх фізичний зміст і діапазон їх можливих значень. Також було описано, які види обмежень можуть входити в задачу оптимізації з метою забезпечення комфорту користувачів, фізичні обмеження компонентів і технологічні параметри обладнання чи приміщення.

Значну частину уваги було приділено будівлі як об'єкту управління, що включає огляд сучасного стану автоматизації інженерних систем. У роботі було визначено види цілей управління будівлею, що включають мінімізацію витрат, енергії, викидів парникових газів, забезпечення комфорту користувачів і максимізацію частки енергії з відновлюваних джерел; описано принцип їх включення до цільової функції задачі оптимізації MPC. Оскільки однією з основних функцій інженерних систем будівлі є забезпечення якості повітря та теплового комфорту користувачів, значну увагу було приділено використанню індексів «прогнозована середня оцінка якості повітряного середовища» (*PMV*) та «прогнозований відсоток незадоволених температурою середовища» (*PPD*) у задачах оптимізації, що можуть надати більш точну інформацію щодо теплових відчуттів людини порівняно з використанням температурних зон комфорту. Ми також розглянули особливості моделювання будівлі та її інженерних систем як центрального компоненту MPC-підходу та потенціал використання концепції *building information modelling (BIM)* для побудови моделей, спираючись на обробку всієї архітектурно-конструкторської, технологічної, економічної та іншої інформації про будівлю.

Ключові слова: система автоматизації будівлі, АСМУБ, модельно-прогнозне керування, МПК, моделювання, оптимальне керування, енергоефективність.

Постановка проблеми. Питання автоматизації інженерних систем як у житлових, так і в комерційних і виробничих будівлях постає дедалі частіше. Причиною цього є вищі вимоги до комфорту, безпеки людини та висока вартість обслуговування будівлі. Перегляд експлуатаційних витрат вказує на можливість економії за оптимізації та узгодження роботи обладнання, що відповідає принципам розумного споживання ресурсів і сприяє підвищенню енергоефективності.

Будівля є складним об'єктом із погляду обслуговування, оскільки має багато пов'язаних інженерних систем, зовнішніх і внутрішніх впливів, які складно передбачити (поведінку людей, погодні умови, зовнішні водо- та теплопоста-

чання тощо). Проте їх інтеграція має найбільший потенціал і привертає інтерес науковців і безпосередньо виробників обладнання. Узгодження поведінки структурних частин системи та їхніх спільних дій на кліматичні параметри у приміщеннях має забезпечуватися як у поточний момент часу, так і у прогнозі на певний період, що дозволяє оптимізувати енерговитрати.

Автоматизація будівель та інтеграція інтелектуальних функцій стає популярною у світі, тому існує велика кількість напрацювань у цій галузі, з якими можна ознайомитися в зарубіжних виданнях і наукових роботах. Основною метою більшості з них є розробка стратегій та інструментів керування для забезпечення максимального комфорту, енергоефективності, економічності й екологічності. Оскільки зазвичай ці критерії мають протилежну дію, потрібно знаходити між ними компроміс.

¹ Стаття підготовлена в рамках виконання проекту «Розроблення техніко-технологічних схем та систем керування теплозабезпечення населених пунктів на основі термодинамічних підходів» (номер державної реєстрації НДР 0120U102168).

Одним із підходів, які можуть вирішити таку задачу, є використання керування із прогнозуючими моделями (Model Predictive Control – MPC), що дозволить оптимізувати складні процеси, які відбуваються в будівлі. Використання модельного прогнозування поведінки системи дає можливість оптимізувати керуючі дії та передбачити динаміку поведінки системи, щоб досягти оптимальних показників не лише в поточний момент, а й на горизонті планування.

1 Модельно-прогнозне керування

1.1 Схеми роботи MPC

Керування із прогнозуючими моделями (Model Predictive Control) – сучасний підхід до керування динамічними системами, який дозволяє вирішувати завдання оптимізації, що задовольняють ряд обмежень. Оптимізація відбувається ітераційно на основі прогнозів поведінки об’єкта для певного проміжку часу, який називається горизонтом часу [1, с. 246]. Принцип MPC полягає в оптимізації стану системи за визначених критеріїв оптимальності за допомогою динамічної моделі процесу, прогнозі збурень, що можуть діяти на цей процес за умов заданих обмежень. За допомогою MPC досягаються високі показники ефективності роботи в широкому спектрі застосувань.

У разі будівлі підхід MPC дозволяє поєднувати прогнози майбутніх збурень системи (наприклад, зміни погоди, рівня сонячної радіації, присутності людей) і задані вимоги до управління (наприклад, межі комфорту користувачів), щоб передбачити потребу будівлі в енергії й оптимізувати теплову поведінку відповідно до обраних цілей керування [2, с. 20]. Оптимізація відбувається шляхом багатократного моделювання процесу, його збурень і вихідних керуючих дій, що підлягають оптимізації

[3, с. 8], і визначенні послідовності керуючих впливів для забезпечення максимального збігу прогнозованих значень виходу до оптимальної рекомендованої траєкторії.

На рис. 1 представлена типова схема керування будівлею з використанням MPC. Контур складається з будівлі, кліматичні параметри якої ми підтримуємо. На динамічну поведінку системи діють зовнішні та внутрішні неконтрольовані впливи $d(k)$, наприклад, зміна погодних умов, заповненість людьми, коливання температури в мережі теплопостачання тощо. Їх величина та динаміка може прогнозуватися за допомогою відповідних моделей або зовнішніх сервісів, як у випадку погоди, і використовуватися для вибору найкращої стратегії керування (послідовності керуючих впливів), отриманої шляхом вирішення задачі числової оптимізації.

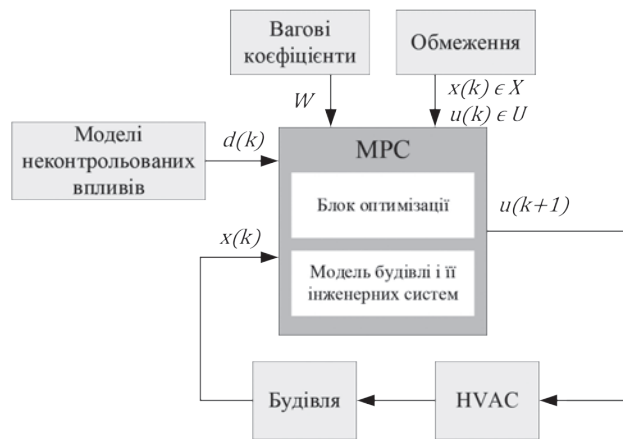


Рис. 1. Структура системи з MPC регулятором

Структура MPC і, зокрема, функції оптимізації залежить від глобальних цілей, поставлених

Таблиця 1

Перелік змінних, що використовуються в цільовій функції

Позначення	Значення	Фізична суть	Одиниці
x	Вектор стану системи	Температура структурних елементів	[K]
y	Вектор виходів	Температура у приміщенні	[K]
u	Вектор керуючих дій	Теплові потоки у приміщенні	[W]
k	Номер кроку	Дискретний індекс, що відображає рух вздовж горизонту передбачення	$k = 1, 2, 3, \dots$
d	Збурення	Температура навколишнього середовища, сонячна радіація тощо	[K, W]
ref	Завдання	Опорні траєкторії або задані точки	[–]
W	Вагові коефіцієнти (матриці)	Важливість кожної цілі	[–]
N_p	Горизонт прогнозування	Прогнозований майбутній проміжок часу	[–]
N_c	Горизонт керування	Оптимізований майбутній проміжок часу	[–]
$u(k) - u(k-1)$	Приріст входів вздовж горизонту	Показник підсилення керування	

перед системою. До основних цілей можуть входити комфорт користувачів, енергозбереження та інші, описані в наступному розділі цієї статті. Загалом вирішення задачі оптимізації відбувається за рахунок мінімізації вартісної функції в дискретній формі (1), яка використовується для перетворення багатоцільової задачі на скалярну, що відбувається шляхом введення вагових коефіцієнтів [4, с. 26112, с. 20].

$$\min \sum_{k=1}^{N_p} \left[W_x x(k) - x(k)_{ref_{n_x}} + W_y y(k) - y(k)_{ref_{n_y}} \right] + \sum_{k=0}^{N_p-1} \left[W_u u(k) - u(k)_{ref_{n_u}} + W_{u'} u(k) - u(k-1)_{n_u} \right] \quad (1)$$

Пояснення величин, що використовуються в (1), наведені в табл. 1 із представленням фізичної суті й одиниць виміру [5, с. 5; 6, с. 4].

На кожному кроці k спостерігається поведінка системи, інформація про яку збирається і використовується для оновлення динамічної моделі системи. Вирішення задачі мінімізації цільової функції за умов обмежень у межах горизонту прогнозування дає оптимальну послідовність керуючих дій u^* і відповідає траєкторії руху оптимального керування, що враховує вимоги задачі згідно з ваговими коефіцієнтами вартісної функції (1). Після подачі на об'єкт керуючої дії $u^*(k)$ відбувається переміщення на один крок вперед і зсув горизонту. Далі процедура оптимізації повторюється з новими даними, що реалізує принцип відступаючого горизонту (рис. 2) [4, с. 2610; 5, с. 5; 2, с. 21; 7, с. 55–56]. Варіації формулювання цільової функції зумовлені особливостями задачі, яка вирішується.

MPC має свої параметри налаштування, що впливають на загальну поведінку системи, представлені на рис. 2:

- Поточний крок k , який використовується алгоритмом.

- Період вибірки T_s – час, упродовж якого розрахована керуюча дія залишається сталою. Фактично це різниця часу між ітераціями.

- Горизонт прогнозування (N_p) – кількість кроків, для яких MPC моделює поведінку об'єкта.

- Горизонт керування (N_c) – кількість кроків, для яких MPC розраховує оптимальне управління.

T_s повинен бути підібраним таким чином, щоб бути достатньо великим для виконання обчислень, передачі та реалізації наступної керуючої дії. Будівлі є досить повільними динамічними системами, в яких T_s варіюється від 15 до 180 хвилин [5, с. 7]. Вибір довжини горизонтів має вагоме значення для практичної реалізації MPC. Горизонт

керування має бути меншим (до 20%) за горизонт прогнозування, який може тривати від до 48 годин [5, с. 7].

Некоректне налаштування MPC може призвести до коливальної поведінки, що виправляється налаштуванням вагових коефіцієнтів, переглядом або введенням обмежень на швидкість зміни виходів регулятора [2, с. 8].

2.3. Обмеження

Можливість включення фізичних обмежень у задачу оптимального керування відносно вхідних і вихідних змінних є однією з вагомих переваг використання MPC [2, с. 19]. Існують різні типи обмежень [1, с. 247], що можуть бути сформульовані у вигляді рівності чи нерівності. Виділяють жорсткі обмеження, виконання яких є обов'язковим, і м'які, які представляють гнучку границю і виконання яких не є строго обов'язковим. Останні формулюються за допомогою слабкої змінної (slack variable), що може переміщувати границю в межах певної величини відповідно до вагового коефіцієнта цільової функції (1): чим вища вартість елемента, куди входить слабка змінна, тим жорсткіше рахуються обмеження. М'які обмеження використовуються для забезпечення стабільності та збіжності управління. З погляду часу, обмеження можуть бути постійними або змінюватися в часі, наприклад, за графіком, як реакція на певні події тощо [2, с. 19; 5, с. 8].

Із практичного погляду, обмеження використовуються для підтримання параметрів у бажаному діапазоні, що може бути використано для забезпечення комфорту користувачів відповідно до технологічного призначення обладнання чи приміщення, фізичними обмеженнями компонентів системи керування тощо. Останні можуть означати обмеження потужності встановленого обладнання, положення клапанів, швидкості їх зміни, виходу на режим обладнання чи затримку між включеннями тощо і задаються у вигляді жорстких обмежень.

2. Модель будівлі для MPC

2.1 Сучасний стан проблеми

Експлуатація будівель і її інженерних систем тісно пов'язана із застосуванням систем автоматизації для забезпечення кліматичних умов, що відповідають комфортним значенням для людини чи відповідним технологічним параметрам виробництва. Оптимізація регулювання кліматичних параметрів у приміщеннях – проблема, яка не має єдиного рішення, оскільки кожен об'єкт має унікальні характеристики та вимоги до параметрів, як і цілі в керуванні, що закладаються у процесі проектування системи. Загалом будівлі та примі-

щення можна поділити за призначенням на виробничі, офісні та житлові. У кожному з варіантів є свої особливості до побудови системи автоматизації інженерних систем будівлі.

Сьогодні серед рішень у регулюванні кліматом широко розповсюджене ручне керування, використання релейних контролерів та управління на основі правил (Rule Based Control – RBC) [2, с. 4; 3, с. 2]. Використання плавного регулювання за допомогою ПД закону керування реалізуються в більш сучасних будівлях, де системи опалення й охолодження оснащені цифровим керуванням. Проте зазвичай керування інженерними системами відбувається незалежно, вони не мають зв'язку між собою. Таким чином відсутня оптимізація й узгодження роботи на рівні усїєї будівлі.

Інтеграція інженерних систем управління в єдину автоматичну систему моніторингу й управління будівлею (АСМУБ) надає значних переваг при побудові енергоефективної будівлі, управління якою може здійснюватися з допомогою технологій штучного інтелекту, нечіткої логіки, генетичних алгоритмів, MPC і їх поєднанням [2, с. 4].

Особливістю будівлі як об'єкта керування полягає в тому, що вона є комплексною соціотехнологічною системою, яка значною мірою впливає на поведінку об'єкта керування.

2.2. Цілі управління будівлею

Для вибору структури системи автоматизації, методів, алгоритмів і технологій, що застосовуються для управління будівлею, слід насамперед визначити, який ефект і цілі маються на увазі. Найчастіше розглядаються такі критерії, як комфорт, вартість обслуговування й енергоефективність, причому останні два часто ототожнюють.

Цілі, що їх потрібно досягти у процесі управління, закладаються при побудові функції оптимізації та становлять певний показник ефективності, який має бути мінімізованим. При постановці двох і більше цілей задача перетворюється на багатоцільову оптимізацію.

Мінімізація енергії

Розрахунок оптимального плану експлуатації систем опалення, охолодження та іншого енергоспоживаючого обладнання відбувається на основі прогнозів погоди, неконтрольованих збурень

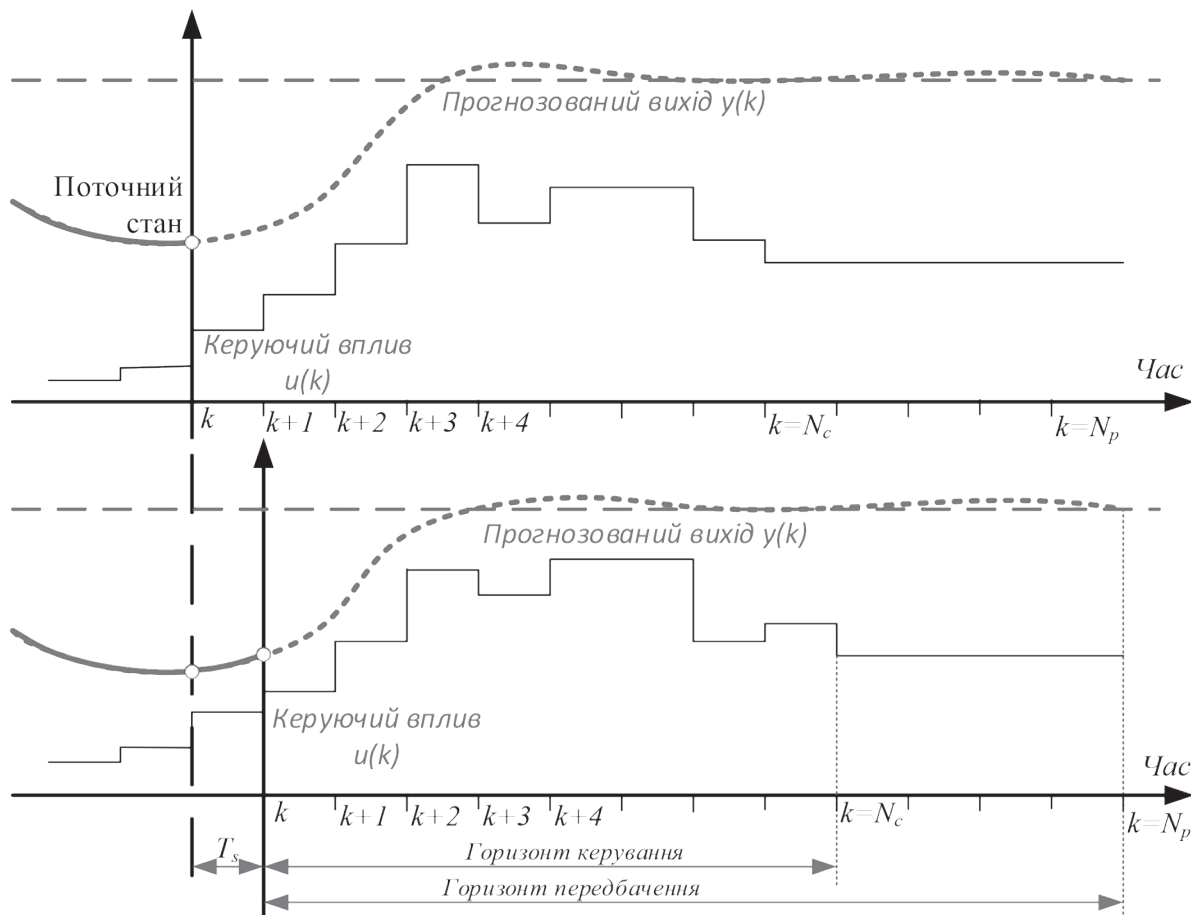


Рис. 2. Принцип роботи MPC

тощо з огляду на мінімізацію сумарної спожитої енергії з оцінкою потужності й ефективності структурних елементів і врахуванням обмежень, накладених на систему [8, с. 1192].

Задоволення комфорту користувачів

Однією з головних функцій систем ОВіК у будівлях є забезпечення якості повітря та теплового комфорту мешканців чи користувачів. Підтримання оптимальних показників може підвищити продуктивність роботи та знизити рівень захворюваності людей.

Одним із поширеніших варіантів забезпечення цього показника є підтримка температурного режиму будівлі в межах певного діапазону, яка називається зоною комфорту [4, с. 2611; 9, с. 2509]. Проте очевидно, що керування тільки температурою не забезпечить максимальний рівень комфорту. З цією метою були розроблені індекси «прогнозована середня оцінка якості повітряного середовища» (PMV), дозволяє оцінити теплові відчуття для організму та «прогнозований відсоток незадоволених температурою середовища» (PPD), що визначає відсоток людей, котрі відчувають тепловий дискомфорт. PPD можуть бути отримані з PMV [10, с. 5].

Індекс PVM є складною нелінійною залежністю, що враховує велику кількість параметрів, таких як швидкість обміну речовин, опір теплопередачі одягу, швидкість і температура повітря, швидкість руху повітря та ін. Значення індексу є безрозмірним і становить шкалу значень від -3 до 3, де нульове значення відповідає найбільш комфортним умовам [10, с. 5].

Застосування PMV у MPC, хоч і надає більш детальне уявлення про теплові відчуття людини, має свої недоліки. Використання нелінійних залежностей у задачах оптимізації вимагає великої кількості обчислювальних ресурсів. Одне з рішень цієї проблеми – використання спрощеної ліанеризованої версії індекса PMV, що зменшує її точність. В іншому разі введення нелінійної залежності в цільову функцію потребує використання нелінійних методів оптимізації, які не можуть гарантувати, що процес досягне оптимального рішення [2, с. 21].

Методи обрахування індексів PMV і PPD детально описані у стандарті ДСТУ Б EN ISO 7730:2011 [10, с. 6].

Мінімізація витрат

Мінімізація енерговитрат не обов'язково призводить до мінімізації вартості обслуговування. Вираження економічної цілі може бути сформульованим шляхом перетворення використаної

енергії в її грошову вартість [11, с. 12028; 12, с. 332]. За умов варіації тарифів на енергоресурси доцільно забезпечити акумуляцію енергії впродовж «дешевших» періодів із її подальшим використанням. Оскільки ціни на паливо мають більш-менш повільну динаміку, цей критерій стосується переважно електроприладів і практично може бути застосований при використанні двочи тризонних тарифів на електроенергію або для виробничих приміщень за умов вільного ринку електроенергії.

Одним із варіантів цієї цілі є зміщення використання енергії з періодів пікових навантажень електромережі із продовженням підтримування рівня теплового комфорту в будівлі. Ця стратегія керування є досить простою в реалізації, але не є оптимальною ні з погляду енергоефективності, ні з погляду економічності [13, с. 1284], проте це позитивно впливає на стабільність електромережі, тому, можливо, в майбутньому такі рішення будуть заохочуватися державою.

Мінімізація викидів парникових газів

Така ціль може обиратися для екологічної мотивації користувача до зменшення забруднюючих викидів. У такому разі ціль формулюється введенням коефіцієнту викидів залежно від виду і кількості енергії, яка використовується. Задача мінімізації викидів може відповідати задачі мінімізації енергії за наявності тільки викопних джерел енергії [5, с. 6–7].

Максимізація частки використання відновлювальних джерел енергії

Може використовуватися за наявності відновлювальних джерел енергії таким чином, щоб максимально пристосувати систему до їх використання, вводячи вагові коефіцієнти для різних доступних джерел енергії [5, с. 7].

2.3. Моделювання будівель

Функція моделювання зазвичай згадується як центральний компонент MPC підходу. Тому цей напрям дослідження є дуже актуальним і має велику кількість робіт, спрямованих на розробку більш точних і надійних цифрових моделей.

Загалом метою моделювання є вивчення поведінки та продуктивності фізичного пристрою чи системи та визначення характеристик або прогнозування реальної системи. Підготовка моделі для систем автоматичного керування є одним із найбільш складних і трудомістких процесів.

Моделювання будівлі може здійснюватися для нового об'єкта на етапах проектування і будівництва або для вже наявних будівель у межах реконструкції чи оновлення системи автоматизації.

Для будівель, що вже існують, розробити точну модель відразу дуже складно, тому вона має проходити процес калібрування протягом якось часу. Це пов'язано з відсутністю повної інформації про будівлю, особливості її геометричної форми, матеріалів, можливу зміну їх властивостей з часом, наявність тріщин в конструкції тощо.

При створенні моделей для нової будівлі значну частину інформації можна отримати, використовуючи концепцію *building information modelling* (BIM), під якою розуміється процес розробки інтелектуальної моделі, що поєднує роботу спеціалістів – архітекторів, інженерів і будівельників [14, с. 1–2]. Початково концепція BIM розглядалася для поліпшення співпраці між різними учасниками процесу під час проектування та будівництва, але швидко включилася до суміжних сфер, застосовуючись протягом усього життєвого циклу будівлі та забезпечуючи потужне міждисциплінарне співробітництво [14, с. 1–3]. BIM може впроваджуватися на різних етапах життєвого циклу як для нових, так і для існуючих будівель і передбачає збір і комплексну обробку всієї архітектурно-конструкторської, технологічної, економічної та іншої інформації про будівлю, починаючи від задуму і закінчуючи демонтажем будівлі, дозволяючи інтегрувати інформацію з різних дисциплін в одну модель [14, с. 3]. Результат роботи BIM – це статична інформаційна модель, що не підтримує динамічне моделювання, але містить велику частину інформації, потрібної MPC моделі. Тому, незважаючи на значні досягнення у сфері BIM, процес перенесення інформації більшою мірою є ручним [5, с. 10].

MPC використовує декілька моделей будівлі, її інженерних систем і зовнішніх збурень. Моделі будівлі включають термодинамічні властивості стін, підлоги, стелі, даху, вікон і дверей, враховуючи процеси теплопередачі, конвективного теплообміну між внутрішнім і навколишнім середовищем і сонячного випромінювання [15, с. 254–25; 16, с. 2–3]. Збурення та інженерні системи можуть мати нелінійні елементи, що ускладнює їх моделювання та використання в алгоритмах MPC [17, с. 5-6].

Значний вплив на поведінку системи має модель заповнення будівлі, де можна виділити два випадки. Розглядаючи виробничі й офісні будівлі, модель заповнення можна сформулювати відпо-

відно до робочого графіку, виду діяльності, технологічних обмежень, плану виробництва тощо. Для житлової будівлі її заповнення має більш хаотичний характер і може бути врахованим за умови свідомої взаємодії людини із системою автоматизації. Методи автоматичної оцінки сьогодні є актуальним питанням досліджень [18, с. 377–378].

Моделі можна поділити на три типи:

- «білий ящик», що ґрунтується на фізичному описі системи і потребує глибоких знань для побудови такої системи;

- «чорний ящик» або емпірична модель, ґрунтується на ідентифікації параметрів моделі шляхом аналізу історичних даних поведінки об'єкта;

- «сірий ящик» – модель, яка поєднує властивості білого та чорного ящика, що, зберігаючи фізичний опис системи, може використовувати методи ідентифікації для визначення її параметрів.

Всі три можуть використовуватися для моделювання в MPC відповідно до завдань, які виконує система керування.

Висновки. Стаття розглядає питання впровадження підходу MPC-управління до системи автоматизації будівлі, акцентуючи увагу на системах теплозабезпечення та підтримання мікроклімату у приміщеннях.

Перевагою використання MPC є можливість врахування ряду обмежень і використання моделювання для прогнозування майбутньої поведінки системи та неконтрольованих збурень у межах горизонту прогнозування у процесі вирішення задачі оптимізації вихідних сигналів керування для періоду горизонту керування. Така система має можливість передбачити певну динаміку в поведінці будівлі чи зовнішніх збурень і попередити їх вплив, на відміну від систем, що використовують ПД-регулювання, що можуть реагувати тільки на зростання похибки керування.

Також MPC має можливість формування цільової функції оптимізації, яка може враховувати декілька критеріїв і їх пріоритетність (ваговий коефіцієнт) у вирішенні задачі оптимізації для отримання бажаного ефекту від роботи системи автоматизації.

Водночас важливим недоліком використання MPC є саме потреба точних моделей, розробка яких потребує значних трудовитрат і більшої потужності в обчисленнях.

Список літератури:

1. Zhou B., Chikkala J., Schmitt R. A load-adaptive and predictive control of energy-efficient building automation in production environment. *Procedia CIRP*. 2019. Volume 79, P. 245–250. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.058>.

2. Serale, G., Fiorentini, M., Capozzoli, A., Bernardini, D. Model Predictive Control (MPC) for Enhancing Building and HVAC System Energy Efficiency: Problem Formulation, Applications and Opportunities. *Energies*. 2018. № 11 (631). 35 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/en11030631>.
3. Mayer, B., Killian, M., Kozek, M. Hierarchical Model Predictive Control for Sustainable Building Automation. *Sustainability*. 2017. 20 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9020264>.
4. Carli R., Cavone G., Dotoli M., Epicoco N., Scarabaggio P. Model predictive control for thermal comfort optimization in building energy management systems. *IEEE International Conference on Systems*. 2019. P. 2608–2613. DOI: <https://doi.org/10.1109/SMC.2019.8914489>.
5. Bolt, P., Füchslin, R., Jaeger, C., Maier, O., Ritzmann, R., Zierbart, V. Model predictive control for building automation. *EuroSun 2018 Conference Proceedings*. 2018. P. 1330–1341. DOI: <https://doi.org/10.18086/eurosun2018.11.05>.
6. Bolt, P., Füchslin, R., Jaeger, C., Maier, O., Ritzmann, R., Zierbart, V. Model predictive control for building automation. *EuroSun 2018 Conference Proceedings*. 2018. P. 1330–1341. DOI: <https://doi.org/10.18086/eurosun2018.11.05>.
7. Надеждин И.С., Горюнов А.Г. Системы управления нестационарным объектом на основе MPC-регулятора и ПИД-регулятора с нечеткой логикой. *Управление большими системами*. Вып. 75. Ст. 50–75.
8. Zucker G., Ferhatbegovic T., Bruckner D. Building automation for increased energy efficiency in buildings. 2012 *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*. 2012. P. 1191–1196. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISIE.2012.6237258>.
9. Tang R., Wang S., Xu L. An MPC-Based Optimal Control Strategy of Active Thermal Storage in Commercial Buildings during Fast Demand Response Events in Smart Grids. *Energy Procedia*. 2019. Vol. 158, P. 2506–2511. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.395>.
10. ДСТУ Б EN ISO 7730:2011. Ергономіка теплого середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту (EN ISO 7730:2005, IDT). [Чинний від 2013-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2012. 74 с.
11. Abreu A., Bourdais R., Guéguen H. Inter-Layer Interactions in Hierarchical MPC for Building Energy Management Systems. *IFAC-PapersOnLine*. 2017. Vol. 50, Issue 1. P. 12027–12032. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2136>.
12. Hilliard T., Swan L., Qin Z. Experimental implementation of whole building MPC with zone based thermal comfort adjustments. *Building and Environment*. 2017. Vol. 125. P. 326–338. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.09.003>.
13. Ma J.,S. Qin J., Salsbury T. Application of economic MPC to the energy and demand minimization of a commercial building. *Journal of Process Control*. 2014. Vol. 24. Issue 8. P. 1282–1291. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2014.06.011>.
14. Christiana P., Angeliki K., Paris A. F. Building information modelling applications in smart buildings: From design to commissioning and beyond A critical review. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 265. 13 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121766>.
15. Lehmann B., Gyalistras D., Gwerder M., Wirth K. Intermediate complexity model for Model Predictive Control of Integrated Room Automation. *Energy and Buildings*. 2013. Vol. 58. P. 250–262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.12.007>.
16. Martincevic A., Filip R., Vinko L., Mario V. Comfort control in buildings with adherence to the required thermal energy input in zones. 2017 *IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics*. 2017. P. 1477–1482. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISIE.2017.8001464>.
17. Rastegarpour S., Gros S., Ferrarini L. MPC approaches for modulating air-to-water heat pumps in radiant-floor buildings. *Control Engineering Practice*. 2020. Vol. 95. 10 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2014.06.011>.
18. Killian M., Kozek M. Short-term occupancy prediction and occupancy based constraints for MPC of smart homes. *IFAC-PapersOnLine*. 2019. Vol. 52. Issue 4. P. 377–382. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.08.239>.

Zakharchenko A.S., Stepanets O.V. FEATURES OF THE USE OF MODEL-PREDICTIVE CONTROL IN BUILDING AUTOMATION

This article discusses the use of the Model Predictive Control (MPC) approach to optimise the complex processes that take place in a building. The principle of the automatic building management system using MPC was discussed and the main parameters used by MPC, their physical meaning and the range of possible values were considered. The types of constraints may also be part of the objective of optimisation to ensure user comfort, physical constraints on components and process parameters of the equipment or room.

A great deal of the time was focused on the building as a control object, including an overview of the current status of automation of engineering systems. The paper identified the types of building management objectives that include minimising costs, energy, greenhouse gas emissions, user comfort and maximising the share of energy from renewable sources, and questioned the principle of their integration into the target function of the MPC optimization task. Since one of the main functions of the building's engineering systems is to provide air quality and thermal comfort to users, a strong weight has been given to the use of the "predicted mean vote" indexes. (PMV) and "predicted percentage of dissatisfied" (PPD) in optimisation tasks, which can provide more accurate information about a person's thermal senses than using temperature comfort zones. At the end, we reviewed the features of building and its engineering systems as a central component of the MPC approach and the potential for building information modelling (BIM) to build models based on the processing of all architectural, technological, economic and other building information. Modelling of already existing buildings may have its unique features due to possible variations in geometric form, materials and their characteristics with aging etc. and additional calibration concerning the real object is required to ensure the temporal accuracy of the resulting model.

Key words: building automation system, BACS, Model Predictive Control, MPC, modelling, optimal control, energy efficiency.

УДК 004.051
DOI

Киричек Г.Г.

Національний університет «Запорізька політехніка»

Чубіч А.І.

Національний університет «Запорізька політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ KANBAN-МЕТОДУ В ОРГАНІЗАЦІЇ РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Використання Kanban у розробці програмного забезпечення щороку набирає популярності. Гнучкість методу дозволяє пристосовуватися до постійних змін у процесі роботи та швидко переключатися між різними етапами розробки. У роботі проведено аналіз різновидів Kanban-дошок, які використовуються у розробці програмного забезпечення, та наведено процес організації роботи команди за основними принципами Kanban-методу. Метою роботи є проведення досліджень і реалізація методу роботи команди з розробки програмного забезпечення за принципами Kanban-методу. Об'єктом дослідження є процес організації роботи команди у розробці програмного забезпечення. Предметом є моделі, методи, алгоритми та інструменти реалізації Kanban-методу. Авторами розглянуто реалізацію загальних Kanban-підходів agile-методології та lean-мислення, без жорстких правил, але із принципами, на які можна посилається. Для Kanban існують тільки спеціальні методи управління, але вони не є стандартизованими. Отже, удосконалення процесу lean-розробки є достатньо актуальним за його використання для реалізації програмного забезпечення. Kanban передбачає послідовні дії для удосконалення процесу організації розробки й отримання гарного результату. Система Kanban передбачає максимальне скорочення Lead Time, а саме часу роботи над завданням на всіх етапах. Тому підхід до виконання задач реалізується з орієнтацією на дошку, потік завдань і виявлення проблемних місць. Основним завданням є вдосконалення і реалізація процесу роботи таким чином, щоб команда була готова до того, що вимоги до системи та пріоритети задач можуть змінюватися декілька разів на день. Процес підтримки комунікацій між різними командами також потребує чіткої схеми функціонування для швидкого обміну інформацією про виконану роботу. У роботі реалізована дошка візуалізації завдань з оптимальним набором статусів для ефективної роботи. Наведено графік, що демонструє ефективність методу залежно від певних факторів.

Ключові слова: Kanban-дошка, метод, алгоритм, пріоритет, програмне забезпечення.

Постановка проблеми. У кожного програмного забезпечення є життєвий цикл – етапи, через які воно проходить із початку створення до кінця розробки та впровадження. Методологія розробки включає набір методів з управління розробкою: правила, техніки та принципи, які роблять її більш ефективною. Останнім часом набирають популярності так звані гнучкі моделі та методи розробки, що передбачають розбиття проекту на невеликі робочі частини, які мають назву історії [1]. Одним із найпопулярніших прикладів гнучких підходів є Kanban-метод. Однак для ефективної роботи з використанням цієї системи потрібно реалізувати чітку схему циклів розробки програмного забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні існує велика кількість методів і способів розробки [2; 3]. Одними з найпопулярніших є Scrum і Waterfall. Scrum передбачає розробку через невеликі ітерації (два-чотири тижні), за які команда виконує чітко визначений об'єм задач [2]. Scrum забезпе-

чує високий рівень взаємодії між членами команди та мотивування до сомоорганізованої плідної роботи. В основі методу Waterfall лежить послідовний перехід від одного етапу на другий без пропусків і можливості повернутися назад. Це забезпечує зрозумілу і просту структуру процесу розробки та стабільність завдань, що виконуються [4]. Система Kanban передбачає використання дошки: фізичної чи електронної. Дошка є обов'язковим елементом для гнучкої методології. Кожен член команди отримує до неї доступ в будь-який час і бачить, на якому етапі перебуває те чи інше завдання. Найвні приклади дошок передбачають розподіл на основні категорії: планування, розробку, тестування та реліз [1]. Такий підхід дозволяє чітко розуміти, на якому етапі знаходиться команда, але у процесі розробки дуже часто виникає необхідність повернутися назад на будь-який етап [5]. У роботі представлено цикл розробки програмного забезпечення, що передбачає вільний перехід між основними етапами розробки,

а також описано процедури, які потрібно виконувати команді для ефективної роботи за цим методом. Також авторами визначені основні ролі спеціалістів та задачі, які повинен виконувати кожен із них [6].

Задачі постійно передаються від однієї команди розробників до іншої. Крім цього, Kanban реалізує ідею потоку як виробничого процесу, де немає простою незавершених завдань [7]. Тобто над однією задачею можуть працювати послідовно декілька спеціалістів. У цьому разі попередні помилки очевидні та виявляються миттєво. Це дозволяє уникнути зайвих витрат, підвищує якість розробки та скорочує терміни її виконання [8].

Постановка завдання. Метою роботи є впровадження досліджень і реалізація методу роботи команди з розробки програмного забезпечення за принципами Kanban-методу. Об'єктом дослідження є процес організації роботи команди при розробці програмного забезпечення. Предметом є моделі, методи, алгоритми та інструменти реалізації Kanban-методу. Основним завданнями роботи є реалізація методу ефективної роботи над розробкою програмного забезпечення з написанням вимог до впровадження системи. Під час розробки необхідно вирішити такі задачі: визначити основні принципи роботи, розробити статуси для реалізації Kanban-дошки, визначити основні типи завдань і реалізувати цикл змін статусів для задач і процесу взаємодії команди [9].

Виклад основного матеріалу дослідження. Kanban-метод передбачає обговорення продуктивності в режимі реального часу і повну прозорість робочих процесів. Етапи роботи візуально представлені на Kanban-дошці, що дозволяє членам команди бачити стан кожного завдання у реальному часі. Зазвичай команда складається з таких спеціалістів: власника продукту (Product Owner), програмістів і головного розробника (Developer Lead), спеціалістів із тестування (QA) і головного QA (QA Lead), скрам-майстра (Scrum Master), бізнес-аналітика (Business Analyst) і продукт-архітектора (Product Architect).

Після затвердження проектних рішень, прийнятих на етапі проектування, команда починає розробку. Весь функціонал розподіляється між програмістами, котрі реалізують алгоритми, пишуть вихідний код, виконують компіляцію і налагодження коду. У проекті є план процесу робіт. Спочатку він аналізується і поділяється дошку на об'єкти, які відображають етапи [9].

Виділимо статуси для завдань: To do, In Progress, Code Review, Ready QA Testing, QA Under Test, Ready UAT Testing, UAT Under Test, UAT Done, Expected та Done (рис. 1).

Система Kanban передбачає максимальне скорочення Lead Time, тобто часу роботи над завданням на всіх етапах. У зв'язку з цим підхід до виконання задач реалізується з орієнтацією на дошку, фокусуванням на потоці завдань і виявленям проблемних місць. Тобто команда пересувається по об'єктах із завданнями справа наліво й обговорює, яким чином можна швидше перевести задачу на наступний етап. Kanban-дошка з візуалізацією ситуації на проекті дозволяє обговорювати не конкретні дії членів команди, а й поточний стан завдань і їх статус у потоці виконання.

Виділимо п'ять основних типів завдань, які використовуються під час роботи над проектом: завдання (task), історію (story), епік (epic), поліпшення (improvement) і баг (bug). На початку циклу розробки створюється проектна документація із вимогами до системи. Вона повинна чітко та детально відображати весь функціонал системи та після погодження бути оформлена бізнес-аналітиками у вигляді задач. Спочатку створюється епік – велике завдання, яке повністю описує окремий новий функціонал. Кожен епік складається з історій (описів вимог). Кожна історія реалізує окремий функціонал і може не входити до складу епіків, а бути окремим самостійним об'єктом, що описує новий функціонал або зміни поточного.

Крім того, створюються покращення (improvements) – вимога до оновлення або невеликої зміни частини функціоналу. Вони можуть додаватися на етапі розробки або тестування. Тестувальники вносять свої пропозиції, які можуть спростити роботу із системою та зробити її більш комфортною для кінцевого користувача. Також часто баги, що знаходяться на етапі тестування, пере-кваліфікують у поліпшення. Баг є помилкою в системі, через яку програма видає неправильну

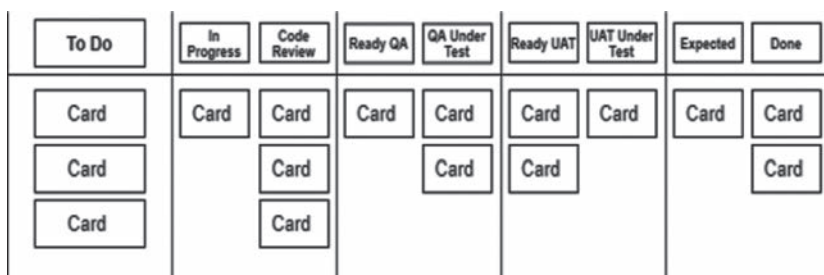


Рис. 1. Схема дошки за методом Kanban

поведінку і, як наслідок, результат. Більшість багів виникають через помилки, допущені розробниками у вихідному коді або при реалізації дизайну. Також деякі баги виникають через некоректну роботу компілятора, що виробляє некоректний код.

Баги розрізняють за ступенем критичності та пріоритетом. За ступенем критичності виділяють: блокуючі (blocker), які роблять неможливою подальшу роботу з додатком; важливі (major), через які система не функціонує належним чином; нормальні (normal), що призводять до некоректної роботи окремих компонентів системи; малозначущі (minor) або невеликі баги.

За пріоритетністю виділяють баги: fix in release – виправити в новій версії продукту; must fix – терміново виправити (блокуючі, які усувають до виходу нової версії); fix if time – виправити, якщо дозволяє час; never fix – ніколи не виправляти (є неактуальними або прийнятні для системи). Оскільки Kanban не передбачає жорстких, обмежених певних часом етапів, під час яких потрібно реалізувати ту чи іншу задачу, рішення про початок роботи із завданням приймається на командних мітингах (основа зворотного зв'язку). Регулярність задає ритм, за яким проходить потік роботи. Виділимо основні типи мітингів, такі як:

- щоденна зустріч, де обговорюється статус поточних завдань;
- зустріч по плану робіт (раз на два тижні);
- зустріч по покращенню сервісу (раз на два тижні) – обговорюється якість системи та її покращення;
- зустріч із організації процесу роботи (раз на два тижні) – обговорюються проблеми, що виникли під час організації процесу роботи (займається Agile-мастер, котрий координує роботу команди);
- зустріч по обзору стратегії (раз на місяць-квартал) – обговорюються зміни у стратегії.

Взаємодія команди відбувається за схемою, зображеною на рис. 2.

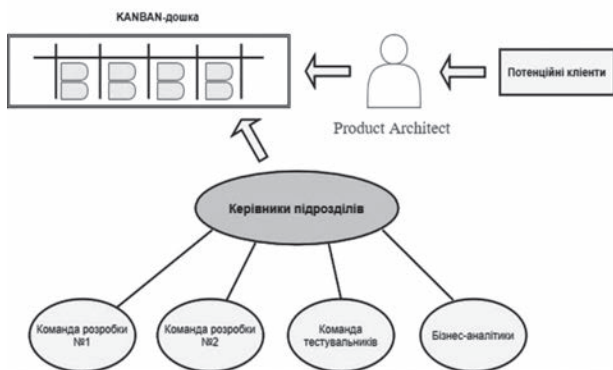


Рис. 2. Взаємодія Kanban-команди

Така модель забезпечує особисте спілкування членів команд кожного напрямку з керівником підрозділу. Члени команди самостійно організують свою роботу, використовуючи Kanban-дошку. Керівник займається пріоритезацією завдань і вирішенням виникаючих проблем.

Визначимо процес розробки на прикладі невеликої частини додатку, що виконує просте математичне ділення двох чисел із плаваючою крапкою.

```
int main()
{
float x = 0;
float y = 0;
std::scanf("%f%f", &x, &y);
float z = -x / y;
std::printf("Result: %f\n", z);
}
```

Product Architect аналізує побажання потенційних клієнтів щодо функціоналу та інтерфейсу додатку. На основі отриманих даних створюється проектна документація з описом вимог. Далі оформлюється Kanban-дошка, створюються задачі та додається команда.

Для нових створених задач автоматично призначається статус To do. Цей статус означає, що задача створена, але поки не розпочата робота над нею. Цикл змін статусів відображено на рис. 3.

Спеціаліст, на якого призначена задача, змінює статус на In Progress, коли починає виконання. На етапі розробки програміст, який розробляє або виправляє функціонал, описаний у завданні, вносить зміни на dev-оточенні та залишає свої коментарі про результати виконання.

Розробники розроблюють окремо невеликі частини функціоналу та проводять юніт-тестування, тобто переконуються, що окремо взята частина додатку працює. Після цього статус завдання потрібно змінити на Code Review [9]. Після встановлення цього статусу на задачу автоматично призначається головний розробник, який перевіряє розроблений код. Якщо текст коду задовольняє вимоги, зміни додаються до тестового оточення. Задачі призначається статус Ready QA Testing.

Розробник може призначити задачу на тестувальника, котрий її створював або вже працював із нею [10]. Також задачу можна залишити непризначеною (Unassigned), і вільний тестувальник зможе почати роботу над нею. Коли починається етап тестування, QA-спеціаліст змінює статус на QA Under Test. Головна задача тестувальника – перевірити, що нова частина додатку працює та коректно взаємодіє з усією системою. Якщо під

час перевірки виникають питання або тестувальник знаходить баги, вони оформлюються в окремих задачах зі статусом To do.

Далі продукт-архітектори та розробники вивчають проблему та приймають рішення про доцільність її вирішення. Коли тестування задачі закінчено, проблеми вирішені та функціонал відповідає поставленим до нього вимогам, тестувальник переміщує задачу у статус Ready UAT Testing.

Коли починається цикл UAT тестування, задачі переводяться спеціалістами у статус UAT Under Test, і призначаються відповідні тестувальники. UAT тестування – це приймальне, призначене для користувача тестування. Будь-яка розробка або доопрацювання програмного забезпечення проходить завершальну стадію UAT-тестування. Тестування проводиться бізнес-користувачами прийнятої системи, тобто потенційними клієнтами, але на практиці часто його проводять QA-спеціалісти. Перевірки проводять на спеціальному оточенні, яке містить у собі всі зміни та доповнення, що відбувалися на етапах розробки та QA-циклу. Якщо знаходяться проблеми на етапі UAT-тестування, приймається рішення про їх виправлення у поточному релізі, перенесення на наступний або визнання проблеми особливою можливістю системи та внесення відповідних правки в релізну документацію. Після успішного завершення перевірки задачі переводяться до UAT Done.

Також передбачені статуси Expected і Done. Expected призначаються створеному багу, якщо він визнається не багом, а особливою можливістю (feature). Тобто мається на увазі поведінка системи, що явно не відображена у вимогах, але є правильною з погляду бізнес-логіки.

Статус Done використовується для багів, які вирішено не виправляти. Окрім цього, цей статус виставляється для задач типу Task, коли вони виконані тестувальником або розробником. Основний результат ефективності методу можна відстежити на діаграмі, наведеній на рис. 4.

На діаграмі відображена динаміка задач залежно від часу та кількості задач. Зі збільшенням часу та кількості задач відповідно змінюється кількість задач у процесі та закритих задач.

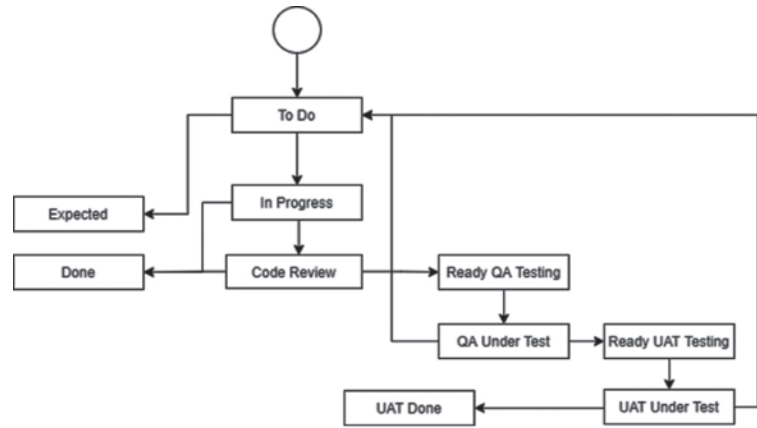


Рис. 3. Цикл змін статусів для задач

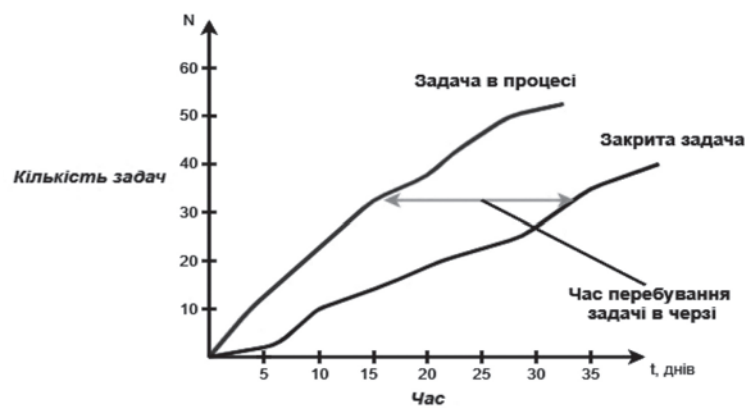


Рис. 4. Діаграма залежності

На ці показники насамперед впливають такі фактори: час на формування вимог, розробку, тестування та виправлення багів, зміна пріоритетів по задачам, зміна вимог до функціоналу. Саме від цих факторів залежить час на виконання задачі та перебування задачі в черзі. Завдяки орієнтованості методу на зменшення кількості одночасно виконуваних завдань час на закриття задачі відповідно зменшується. Дуже часто виникають завищення задач. Виділимо основні причини:

- велику кількість заблокованих завдань. Така ситуація може виникати через баги, які блокують функціонал, затримки на етапі підтвердження від продукт-архітектор, затримки у процесі виправлення багів;

- постійну зміну пріоритетів задач. Завдання доходять до останніх стадій, раптом стають не дуже важливими, команда перемикається на нові завдання. Виходить, що змінилися пріоритети, і робота не завершена;

- додавання нових поліпшень і змін у вимогах до системи. Kanban передбачає можливість

постійних змін вимог до системи, тому часто виникають ситуації, коли розроблений функціонал доповнюють або навіть змінюють.

Висновки. У роботі вдосконалено процес організації роботи команди з розробки програмного забезпечення за системою Kanban. Реалізована дошка для візуалізації завдань з оптимальним набором статусів для ефективної роботи, приведені принципи роботи з нею та цикл змін статусів для задач. Розглянуто на практичному прикладі процес розробки та взаємодії команди. Наведено графік, що демонструє ефективність методу залежно від певних факторів. Розробка за

системою Kanban є однією з найпопулярніших як для невеликих, так і для малих проектів завдяки орієнтованості на задачі, а саме: на зменшення кількості одночасно виконуваних задач і зменшення часу виконання кожної задачі, гнучкість у прийнятті рішень і частоту змін пріоритетів, тісну взаємодію між усіма членами команди. Наукова цінність наведеного методу полягає у підвищенні ефективності та покращенні роботи наявних методів організації розробки програмного забезпечення. У ході подальших досліджень планується вдосконалення розробленої моделі з метою підвищення ефективності системи.

Список літератури:

1. Corona E., Pani F.E. A Review of Lean-Kanban Approaches in the Software Development. 2013. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/0725/482b6ced393863440f7e063c268e3790d18c.pdf>. (дата звернення: 07.11.2020)
2. Reddy A. The Scrumban [R] Evolution: Getting the Most Out of Agile, Scrum, and Lean Kanban. Addison-Wesley Professional, 2015.
3. Стелман Е., Грін. Д. Осягаючи Agile: Цінності, принципи, методології. Москва : Манн, Іванов і Фербер, 2019. 448 с.
4. Киричек Г.Г., Киричек О.О. Модель оцінки плагіату програмного коду на основі системи контролю версій. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. № 2 (2). С. 25–28.
5. Кон М. Scrum: гибкая разработка ПО. Москва : Вільямс, 2011. 576 с.
6. Kirichek, G., Tymoshenko, V., Rudkovskiy, O., Hrushko, S.: Decentralized System for Run Services. In: CEUR Workshop Proceedings 2353, 2019. P. 860–872.
7. Murino T., Naviglio G., Romano E. Optimal size of Kanban board in a single stage multi product system. 2010. URL: https://www.researchgate.net/publication/234790654_Optimal_size_of_Kanban_board_in_a_single_stage_multi_product_system (дата звернення: 07.11.2020)
8. Kirichek, G., Skrupsky, S., Tiahunova, M., Timenko, A.: Implementation of web system optimization method. In: CEUR Workshop Proceedings 2608, 2020. P. 199–210.
9. Ahmad, M.O., Markkula, J., Oivo, M. Kanban in software development: A systematic literature review. In Software Engineering and Advanced Applications (SEAA). 2013. URL: https://www.researchgate.net/publication/260739586_Kanban_in_Software_Development_A_Systematic_Literature_Review (дата звернення: 07.11.2020)
10. Мартин Р., Ньюкирк Дж, Косс Р. Быстрая разработка программ. Принципы, примеры, практика. Москва : Вільямс, 2004. 752 с.

Kyrychek H.H., Chubich A.I. KANBAN-METHOD USE FOR SOFTWARE DEVELOPMENT ORGANIZATION

The use of Kanban in software development is gaining popularity every year. Flexible method allows you to adapt to constant changes in the process and quickly switch between different stages of development. The paper analyzes the existing examples of Kanban boards used for software development and elaborates the process of organizing teamwork based on the basic principles of Kanban methodology. The purpose of the work is to conduct research and implementation of the method of team software development for principles Kanban-method. The research object is the organization process of team's work in software development. The subject is models, methods, algorithms and tools for implementing Kanban method. The authors consider the implementation of general Kanban approaches of agile-methodology and lean thinking, without strict rules, but with principles that can be referred to. Only special management methods exist for Kanban, but they are not standardized. Therefore, improving the Lean development process is relevant for software development. Kanban provides consistent and smooth improvements for good results. The Kanban system provides the maximum reduction of Lead Time, and the time of work on the task at all stages. Therefore, the approach to the implementation of tasks is implemented with a focus on the board, the flow of tasks and the identification of problem areas. The work process needs to be designed so that the team is ready so that the requirements for the system and priorities of the tasks can change several times a day. The process of supporting communications between different departments also requires a clear flow chart to quickly share information about work being done. The paper implements a task visualization board, with an optimal set of statuses, for effective work. The graph showing the effectiveness of the method depending on certain factors is given.

Key words: Kanban board, method, algorithm, priority, software.

УДК 004.94
DOI

Кисіль Т.М.

Хмельницький національний університет

РОЗПИЗНАВАННЯ КІНЦЕВИХ ПРИСТРОЇВ КОРПОРАТИВНОЇ МЕРЕЖІ ЗА ПРИНЦИПОМ СВІЙ / ЧУЖИЙ

Недоліками відомих способів організації взаємозв'язку компонентів розподілених систем для виявлення зловмисного програмного забезпечення в корпоративних комп'ютерних мережах є використання централізованої архітектури, що контролюється адміністратором. Це призводить до недостатньо високої достовірності виявлення і локалізації зловмисних дій, бо збір інформації про стан мережі, визначення присутності шкідливих дій і їх блокування здійснюється для обробки єдиним центром.

Імунна система є високорозподіленою, високоадаптивною, самоорганізованою за своєю суттю, зберігає пам'ять про минулі зустрічі та має можливість постійно дізнаватися про нові. Імунна система може надихати вчених і комп'ютерних інженерів. Оскільки обчислювальні проблеми ускладнюються, люди дедалі частіше шукають нові підходи до цих проблем, часто звертаючись до природи по натхненню. Зараз велика увага приділяється імунній системі хребетних як потенційному джерелу такого натхнення. Існує думка, що можна отримати різні ідеї й альтернативні рішення, крім інших біологічно натхнених методів. Подібно до того, як ІС розпізнає чужі молекули, штучна імунна система виявлятиме чужий пристрій на основі порівняння певної інформації із шаблоном за допомогою або правила Хеммінга, або правила r-последовних збігів.

На жаль, остаточне рішення щодо ідентифікації пристрою корпоративної мережі за принципом свій / чужий спирається на досвід і думку адміністратора мережі, тому є необхідність розробити автоматизовану систему прийняття рішень, яка може ґрунтуватися на нечіткій логіці та спиратися на результати роботи вже наявної СВВ. У роботі запропоновано аналізувати бітовий рядок інформації як основу для подальшої побудови нечіткої системи прийняття рішень.

Ключові слова: корпоративна мережа, свій / чужий, правило Хеммінга, правило r-последовного збігу, штучні імунні системи.

Постановка проблеми. Вибір концепції побудови конкретної корпоративної мережі визначається цілою низкою чинників: затребуваними інформаційними послугами, обсягами переданого трафіку, інфраструктурою і т. д., але існують і загальні вимоги до корпоративних мереж. Мережі підприємств повинні бути побудовані на основі перевірених технологій, що володіють такими якостями, як масштабованість, гнучкість, мульти-сервісність і, найголовніше, – надійність.

Мережа сучасного підприємства зазвичай повинна підтримувати ряд найбільш затребуваних для бізнесу додатків і керованих сервісів. Насамперед це:

- можливість високошвидкісного доступу до мережі Інтернет;
- створення віртуальних приватних мереж (VPN);
- захист інформації та зберігання даних.

Слід зазначити, що пристрої, під'єднані до корпоративної мережі за допомогою бездротового зв'язку, будуть вважатися підозрілими, і лише їх аномальна поведінка (як то спроба звернення до забороненої IP-адреси, використання недозvole-

них портів з'єднання тощо) буде вирішальною для ідентифікації за принципом свій / чужий.

Крім того, «чужим» може виявитися також і стаціонарний пристрій мережі, який виявляє нетипову поведінку, а «своїм» – пристрій, що під'єднався до мережі, але не виявляє зловмисних дій.

Необхідно щоразу для кожного конкретного пристрою у разі нетипової поведінки приймати рішення – чужий чи свій – і відповідним чином реагувати.

Зазвичай «чужий» пристрій у мережі намагається здійснити вторгнення, причинами якого можуть бути політичні, економічні, злочинні мотиви або навіть випадковість.

Тому необхідно насамперед виявляти такі вторгнення та приймати рішення щодо рівня безпеки такого вторгнення.

Вважається, що багато механізмів, присутніх у біологічній імунній системі, добре підходять для використання у сфері комп'ютерного виявлення вторгнень у вигляді штучної імунної системи (ШІС).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературі про ШІС, у якій йдеться про системи виявлення вторгнень (СВВ), моделювання агентів

і лімфоцитів часто об'єднують у загальну сутність детектора [2; 3].

Здатність розрізняти своїх і чужих є, мабуть, найголовнішою рисою імунної системи (ІС). Це робиться шляхом розпізнавання лімфоцитами різних агентів. Розпізнавання агентів у біологічній ІС відбувається, коли між рецепторами на поверхні імунних клітин та епітопами на поверхні патогенних мікроорганізмів встановлюються хімічні зв'язки, збіг на низькому рівні зводиться до узгодження білків або фрагментів білка, що називаються пептидами. Далі слово «пептид» буде використовуватися для представлення як штучних рецепторів, так і штучних агентів.

Використання клональної селекції та соматичної гіпермутації для моделювання дозрівання афінності у штучних імунних системах, застосованих до мережних систем виявлення вторгнень (МСВВ), було запропоновано, але не реалізовано Хофмейром і Форестом [4]. Хоча було проведено деякі експериментальні роботи, що вивчають роль соматичної гіпермутації в ІС [2].

Постановка завдання. Мета роботи – проаналізувати можливість використання штучної імунної системи для виявлення «чужих» пристроїв, запропонувати структуру такої імунної системи.

Під «чужим» пристроєм будемо розуміти під'єднаний до мережі пристрій, що виявляє аномальні дії, як то спробу несанкціонованого доступу до забороненої частини мережі, виклик або запуск нетипових програм (використання нетипових портів доступу) і т. д. На основі аналізу такої інформації розробити структуру штучної імунної системи

Виклад основного матеріалу дослідження. У ШІС пептиди часто представлені у вигляді рядків довжиною l , що складаються із символів алфавіту, який містить m символів. Цей підхід найчастіше використовують для $m = 2$ (тобто бітових рядків).

Пептиди, що представляють агентів, будуть кодувати деяку інформацію, яка стосується проблемного домену, до якого застосовується ШІС. Оскільки ІС повинна розрізняти своїх і чужих на основі пептидів, ШІС повинна робити це на основі рядків фіксованої довжини l . Кожен такий рядок буде називатися агентом a . Сукупність усіх агентів утворює універсум, $U = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, який містить дві підмножини, що не перетинаються; тобто сукупність своїх, U_S і сукупність чужих, U_N , тож $U = U_S \cup U_N$, $U_S \cap U_N = \emptyset$. Як зазначено в [4], ШІС тоді стикається із проблемою класифікації; отримавши довільний рядок із U ,

класифікує його як свій чи чужий. Класифікація на своїх і чужих може також розглядатися як розподіл на нормальних та аномальних.

Ця модель пептидів дотримується вимоги про те, що вся відповідна інформація у проблемній області може бути представлена якимось чином і що повинен існувати певний спосіб компактного кодування узагальнень цієї інформації.

Слід також зазначити, що, коли реальні проблеми відображаються у таких уявленнях, свій і чужий не можуть бути роз'єднаними, оскільки два випадки можуть бути відображені в одному представленні.

Подібно до СВВ ІС також може допускати два типи помилок розпізнавання. Це справедливо і для ШІС. Помилково позитивний результат виникає, коли нормальний агент класифікується як чужий, а помилково негативний – коли аномальний агент класифікується як свій.

Описане вище кодування пептиду також використовується для моделювання рецепторів детекторів у ШІС. ШІС має сукупність детекторів D . Кожен детектор $d \in D$ має покриття C_d , яке описує кількість агентів, які він розпізнає. Якщо детектор d не розпізнає жодних агентів, його покриття $C_d = \emptyset$. З іншого боку, якщо d впізнає всіх інших агентів, його покриття є $C_d = U$; всі агенти в універсумі.

Це представлення пептидів дозволяє ШІС розпізнавати різні агенти за допомогою зіставлення рядків, але одна із приємних особливостей ІС полягає в тому, що вона здатна узагальнювати це зіставлення. Узагальнення своїх і чужих, яке відбувається в ІС, здійснюється за допомогою наближеного збігу рядків.

У найбільш загальній формі проблема наближеного узгодження рядків полягає у пошуку тексту, де виникає заданий шаблон тексту, допускаючи обмежену кількість «помилки» у збігах. Кожна програма використовує іншу модель помилки, що визначає, наскільки різними можуть бути рядки (Navarro 2001). Ці тексти можна розглядати як послідовності символів, складених з алфавіту довжини m .

Зазвичай використовують два такі правила відповідності – правило Хеммінга та правило r -послідовних збігів (рис. 1). Тут основна увага буде зосереджена на правилі r -послідовних збігів, оскільки це правдоподібна абстракція зв'язування рецепторів в імунній системі. ІС дуже ефективна тим, що їй вдається розрізняти своїх і чужих, маючи відносно невеликий набір детекторів.



Рис. 1. Зіставлення рядків:

а) за правилом Хеммінга (між рядками довжиною в 16, що складаються із символів бінарного алфавіту, з відповідним обмеженням $r=9$). Два рядки a та b будуть збігатися для всіх $r \leq 9$)
 б) за правилом r -послідовних збігів (між рядками довжиною 16, що складаються із символів бінарного алфавіту, з відповідним обмеженням $r=5$). Два рядки a та b будуть збігатися для всіх $r \leq 5$)

І правило збігу Хеммінга, і правило r -послідовних збігів контролюються пороговим параметром r , де $0 < r < l$. Якщо $r = 0$, покриттям $d \in$ всі рядки, $C_d = U$, а якщо $r = l$, то покриттям $d \in$ один рядок агента a , $C_d = \{a\}$. Чим вище значення r , тим конкретніший збіг. І конкретність збігу є аналогічною близькості зв'язування між Ag та лімфоцитом, або детектором.

Слід зазначити, що в ІС відповідність (або розпізнавання) між агентом і лімфоцитом базується на взаємодоповнюючих формах. У ШІС розглядатимуться бінарні рядки та їх «приблизна» рівність.

Правило порівняння Хеммінга базується на відстані Хеммінга між двома рядками. Якщо два рядки a і b мають однакові біти принаймні в r позиціях, вони збігаються (рис. 1.а). Згідно з правилом r -послідовного збігу два рядки a і b збігаються, якщо вони мають однакові біти принаймні в r послідовних позиціях (рис. 1.б).

Ймовірність збігу за допомогою правила Хеммінга:

Нехай $Hamming_{l,r}(a,b)$ є оператором, який визначає, чи збігаються дві рядки a і b , обидва довжиною l , використовуючи правило збігу Хеммінга, з обмеженням, що r біт попарно рівні.

Тоді ймовірність збігу між двома випадково вибраними рядками a та b становить

$$P(Hamming_{l,r}(a,b)) = 2^{-l} \sum_{i=r}^l C_l^i \quad (1)$$

Ймовірність отримують з огляду на те, що 2^{-l} – це ймовірність одиничного збігу, а C_l^i – кількість рядків в U , які мають однакові біти і в позиціях.

Механізм негативного відбору в ІС часто використовується в ШІС для проведення виявлення на основі аномалії. У [1; 4; 5] це змодельовано за умови, щоб дійсними детекторами були ті детектори, які не виявляють самоагентів під час толерування: По-перше, детектор генерується випадковим чином, а це означає, що його рецептори можуть розпізнавати що завгодно. Якщо детектор щось розпізнає під час допуску, він гине. Якщо детектор

переживає термін допуску, він стає зрілим і найвним детектором (його називають найвним, оскільки він ще не виявив жодних збудників).

Це використання негативного відбору ґрунтується на припущенні, що, якщо детектор розпізнає що-небудь під час допуску, є своїм. Таким чином, ШІС імпліцитно дізнається, що все, що збігається з його зрілими детекторами та детекторами пам'яті, є чужим.

Оскільки детектори з часом контролюють кілька пептидів, це означає, що за низьких значень r детектори AIS будуть відповідати практично будь-чому. З іншого боку, за високих значень r детектори будуть відповідати набагато меншому набору агентів.

Оскільки набір детекторів ШІС генерується за допомогою негативного відбору, менші значення r призводять до вищої ймовірності відповідності «свій» під час толерування, а більш високі значення r зменшують ймовірність відповідності «свій». Таким чином, чим нижче значення r , тим більше спроб потрібно ШІС для генерації кожного зрілого детектора. З вищими значеннями r необхідна менша кількість спроб генерації детекторів, але для досягнення певного рівня покриття необхідний також більший набір детекторів.

Це призводить до ситуації компромісу, коли для нижчих значень r потрібен менший набір детекторів для досягнення певного покриття, тоді як AIS потребує більше спроб для кожного дійсного детектора, який він генерує. Виходячи з ролі, яку поєднання клональної селекції та соматичної гіпермутації відіграє в ІС, передбачається, що такі механізми збільшать різноманітність детекторів і схожість між детекторами й агентами.

СВВ на основі ШІС складається з двох основних частин – основного ядра ШІС і детекторів. Основне ядро ШІС розташоване на шлюзі кожної локальної мережі, а детектори – кожен користувач системи. Кожен із вказаних компонентів складається з агентів, що зіставляють інформацію один від одного, щоб виявити аномалії та вторгнення.

Ціль такої структури – зменшити час виявлення для кожного з'єднання з допомогою надання можливостей детектора (аналіз трафіку та повідомлення про небезпеку) кожному користувачу. Як наслідок, навантаження по обробці трафіку буде розподілятися на кожного користувача – кожен користувач сам відповідає за аналіз власного трафіку. Тому замість того, щоб аналізувати кожен пакет мережі (що створює велику потребу в обчислювальних можливостях і затримку в виявленні), центральне ядро буде обробляти сигнали небезпеки від користувачів мережі.

Основне ядро складається із двох частин: модуля навчання та модуля детекторів-користувачів, обидві частини разом виконують чотири основні завдання:

- створення шаблонів ознак;
- аналіз повідомлень від користувачів;
- запам'ятовування робочих шаблонів;
- розподілення, синхронізацію шаблонів

ознак кожного детектора.

Кожен модуль є програмою на комп'ютері користувача чи шлюзові, що виконує одне із завдань (шлюз чи користувач може мати декілька програм одночасно).

Модуль навчання складається із програми-дешифратора та програми навчання, на ньому лежить відповідальність за створення основних випадкових шаблонів ознак на ранніх стадіях роботи системи. Модуль детекторів складається із програми аналізу та програми-диспетчера вторгнень. Перша програма обробляє сигнали від користувачів і в певних випадках запам'ятовує шаблони, на які користувач зреагував, схрещує їх для виконання генетичного алгоритму, друга програма відповідає за розповсюдження та синхронізацію шаблонів між користувачами-детекторами.

Перед оцінкою системи відбувається її попереднє навчання та налаштування параметрів. Попереднє навчання ШПС відбувається з допомогою використання набору безпечних (своїх) даних і небезпечних (чужих) даних. Для обробки пакетів трафіку їх спочатку необхідно розшифрувати та

перетворити в оброблену інформацію – цим займається програма-дешифратор. Інформація містить такі поля, як ір надсилача, ір отримувача, порт надсилача, порт отримувача, протокол, розмір пакету. Ця інформація дістається з пакетів і перетворюється в послідовності зі 112 бітів. Табл. 1 показує правильно розшифрований приклад елементів інформації, що отримується, та їх розміром (у бітах).

Після дешифрування всіх тренувальних наборів інформації в бітові послідовності їх передають у програму навчання, що використовується для створення шаблонів для детекторів. Алгоритм негативного відбору використовується для створення першого покоління шаблонів.

Спочатку створюється і перевіряється «молодий» випадковий набір бітових послідовностей-шаблонів на базовому наборі тестових даних. Якщо шаблон спрацьовує на «своїх» пакетах, то він замінюється новим і так доти, поки шаблон не перестане реагувати на свої пакети. Далі відбувається наступний крок алгоритму негативного відбору, що відсіює шаблон, який не реагує на жоден із «чужих» пакетів. Все, що не відсіялося, додається до результуючого набору шаблонів. Цей процес повторюється, поки кожен із чужих пакетів не збігатиметься із хоча б трьома шаблонами з результуючого набору шаблонів. Для порівняння послідовностей використовується *r*-бітовий збіг.

Процес навчання основних детекторів вказаний на рис. 2.

Після навчання всі детектори мають отримати набір шаблонів. Цю роль бере на себе програма-диспетчер, яка синхронізує зміни шаблонів, а також встановлює для них шаблони ознак. Диспетчер отримує сигнали небезпеки та перенаправляє їх до програми-аналізатора для обробки.

Як тільки у користувача відбудеться вторгнення і користувач його помітить за шаблоном, він відправить повідомлення, що включатиме підозрілий пакет. Таким чином, інформація про вторгнення, наприклад, кількість детекторів, що помітили небезпеку, їх ставлення до підозрілого

Таблиця 1

Приклад можливої інформації з пакету

Назва поля	Мінімум – максимум	Кількість бітів
ІР отримувача	0.0.0.0–255.255.255.255	32 біти
ІР надсилача	0.0.0.0–255.255.255.255	32 біти
порт отримувача	0–65535	16 бітів
порт відправника	0–65535	16 бітів
час продовження	0–4096 секунд	12 бітів
протокол	0–16	4 біти

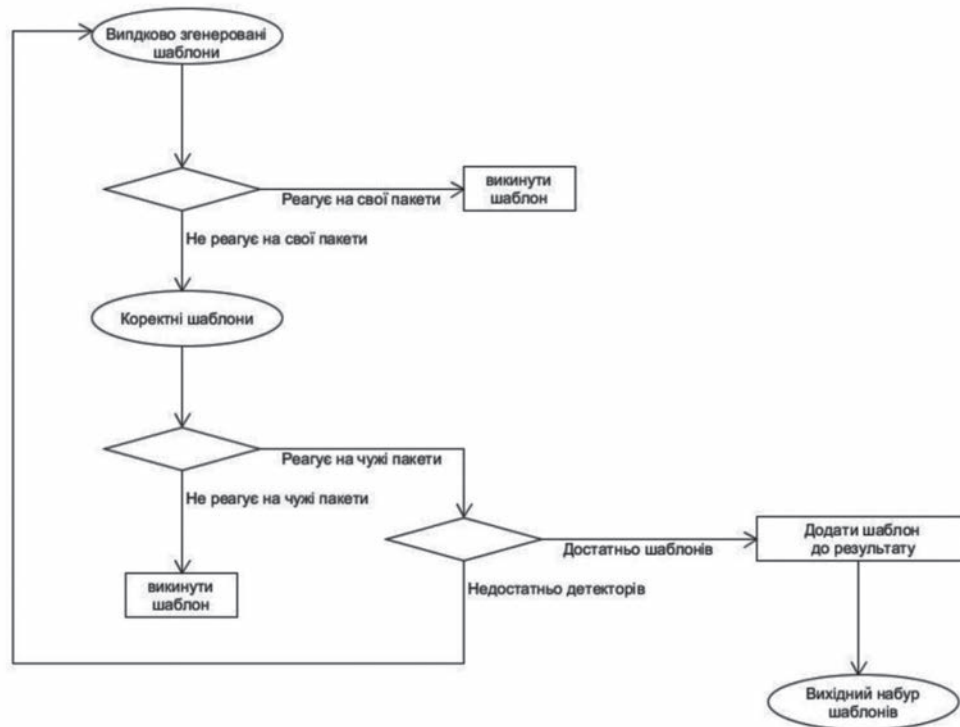


Рис. 2. Навчання детекторів

пакету та їх профіль буде надіслано до основного ядра СВВ на аналіз та обробку. Програма-аналізатор із модуля-детектора цим і займається. Якщо кількість підозрілих пакетів виходить за межі норми, то відбувається покращення шаблонів. Генетичний алгоритм виконується для створення шаблонів, що краще виділяють певні види аномалій. Водночас аналізатор спробує заблокувати пакети певного типу через фаєрвол. Якщо кількість повідомлень про небезпеку менша за нижню границю безпеки, то пакет все одно додається для подальшої обробки в пасивному режимі. Після створення нових шаблонів вони будуть передані програмі-диспетчеру для розповсюдження між вузлами-користувачами.

Коли задіяні шаблони надсилаються в аналізатор, то генетичний алгоритм використовується для створення з них шаблонів, що будуть скопійовані для початкового покоління для відбору.

Формула, яка визначає, чи нам треба відбирати шаблон для генетичного алгоритму:

$$[\text{Мінімальна оцінка принадності для відбору}] = \frac{[\text{сума оцінок шаблонів}]}{[\text{кількість шаблонів}]}$$

Шаблони, оцінка яких вища за мінімальну, використовуються для створення наступного покоління за допомогою генетичного алгоритму. Кожен шаблон може копіюватися певну кількість разів – кількість визначається за формулою:

$$[\text{кількість копій}] = \text{ціла частина} (10 * \frac{[\text{оцінка шаблону}]}{[\text{сума оцінок шаблонів}]})$$

Після виконання клонувань виконується генетичний алгоритм – вибрані детектори проходять через операції кросоверу, мутації та репродукції певну кількість поколінь. У кожному поколінні визначається нова сума оцінок шаблонів і вибирається новий кандидат на додавання. І якщо його оцінка менша за максимальну з початкового шаблону, то генетичний алгоритм зупиняється, і кандидат на додавання розповсюджується між користувачькими вузлами-детекторами. Якщо через певну кількість поколінь не можна зробити кращий шаблон, то розповсюджується кращий зі створених шаблонів.

Для покращення механізму СВВ і збільшення ефективності шаблони розповсюджуються на всі вузли в мережі. Це також зумовлює простоту і розширюваність такої системи. У системі присутні два типи вузлів-детекторів: вузли пам'яті й активні детектори. Дешифратор використовується для перетворення пакетів для аналізу активними детекторами.

Вузли пам'яті дозволяють робити адаптивну відповідь ШІС на вторгнення. Вузли пам'яті містять набір шаблонів, що створюється і змінюється, використовуючи генетичний алгоритм. Аналізатор виконує раніше вказаний генетичний

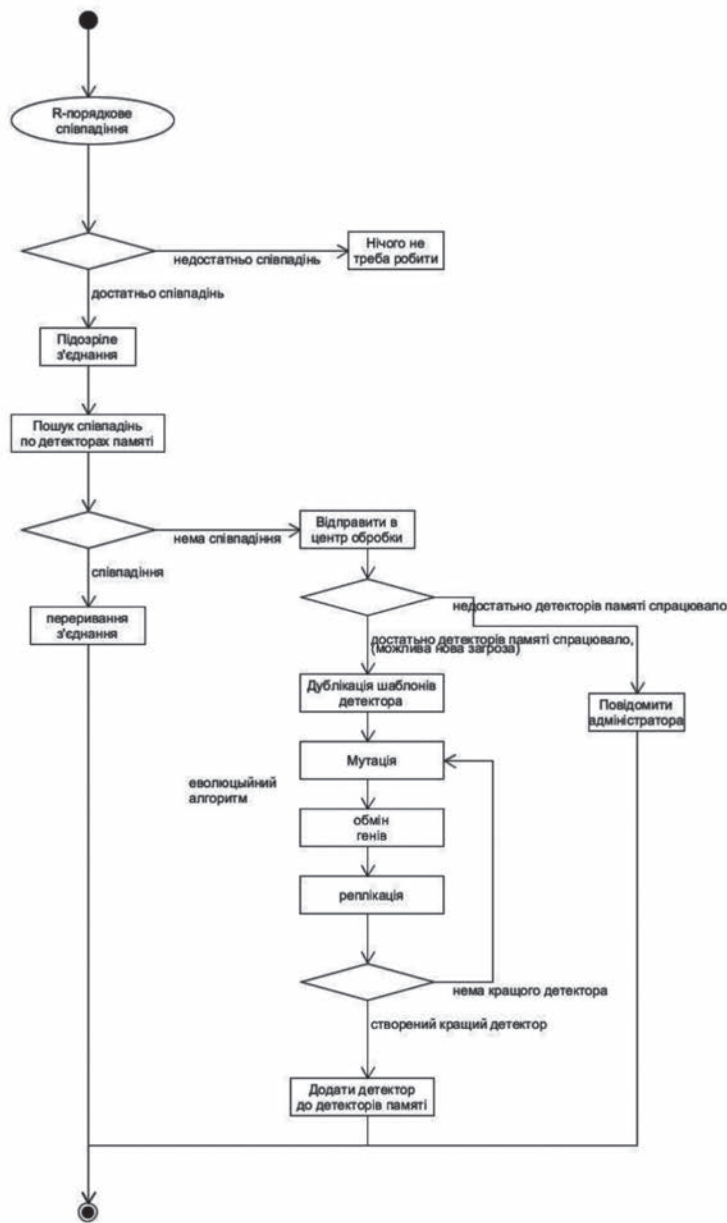


Рис. 3. Блок-схема процедури виявлення

алгоритм, який дозволяє детекторам краще ідентифікувати втручання. Використання вузлів пам'яті дозволяє зменшувати час відповіді та краще реагувати на раніше помічені види втручання. Також такий підхід збільшує ефективність СВВ, зменшуючи час обробки пакетів. Вузли пам'яті також добре працюють для зменшення

кількості неправильних позитивних і неправильних негативних відкликів. Як тільки аномалія була помічена на вузлі, і будь-який шаблон із вузлів пам'яті підійде під трафік у мережі, підходящий трафік буде направлено на аналіз в основне ядро СВВ. Весь процес аналізу із серверної та клієнтської сторони показаний на рис. 3.

Активний детектор містить набір шаблонів, що точно розрізняють трафік за схемою свій-чужий. Всі вхідні пакети перевіряються цими детекторами. Якщо будь-який пакет визнано аномальним за будь-яким шаблоном, то вказаний пакет передається далі на аналіз в основне ядро СВВ для обробки. Кількість шаблонів, задіяних на підозрілому пакеті, оцінка кожного із задіяних шаблонів, власливості пакету – все це необхідно щоразу передавати для аналізу в основне ядро. Межа підозрілості пакету – властивість, що дозволяє збільшувати точність визначення втручання і відсіяти неправильні позитивні спрацювання. Якщо кількість шаблонів, зачеплених при аналізі, більша за мінімальну межу підозрілості, то сесія із цим пакетом буде примусово відключена фаєрволом.

Висновки. Попереднє навчання ШС відбувається за допомогою використання набору безпечних (своїх) даних і небезпечних (чужих) даних. Для обробки пакетів трафіку їх спочатку необхідно розшифрувати та перетворити в оброблену інформацію, яка містить такі поля, як ір надсилача, ір отримувача, порт надсилача, порт отримувача, протокол, розмір пакету. Ця інформація дістається з пакетів і перетворюється в послідовності зі 112 бітів. Надалі цю інформацію використаємо для нечіткої системи управління, щоб дати відповідь на питання, чи цей пристрій свій чи чужий.

Список літератури:

1. Hightower Ron, Stephanie Forrest, and Alan S. Perelson. The Baldwin Effect in the Immune System: Learning by Somatic Hypermutation. *Adaptive Individuals in Evolving Populations: Models and Algorithms*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading Massachusetts. 1996. P. 159–167.
2. Timmis J. Artificial immune systems: today and tomorrow. *Natural Computing*. № 6 (1). P. 1–18. March 2007.
3. Литвиненко В.І. Побудова штучних імунних систем. *Наукові праці. Комп'ютерні технології*. 2010. Вип. 121. Т. 134. С. 166–178

4. Hofmeyr S., Forrest S. Architecture for an Artificial Immune System. *Evolutionary Computation*. 2000. № 8 (4). P. 443–473.
5. Lysenko S., Savenko O., Bobrovnikova K., Kryshchuk A., Savenko B. Information technology for botnets detection based on their behaviour in the corporate area network. *Communications in Computer and Information Science*. 2017. Vol. 702. P. 83–95.

Kysil T.M. RECOGNITION OF END DEVICES OF CORPORATE NETWORK ON THE PRINCIPLE OF SELF / NONSELF

The disadvantages of known methods of interconnecting distributed system components to detect malware in corporate computer networks are the use of a centralized architecture controlled by the administrator. This leads to insufficient reliability of detection and localization of malicious actions, because the collection of information about the state of the network, determining the presence of malicious actions and blocking them is carried out for processing by a single center, which can be slowed down by transmitting collected data to this center. also the impact on his work as a network administrator.

The immune system is highly distributed, highly adaptable, self-organized in nature, preserves the memory of past meetings and has the opportunity to constantly learn about new meetings. From a computational point of view, the immune system can inspire scientists and computer engineers. As computational problems become more complex, people are increasingly looking for new approaches to these problems, often turning to nature for inspiration. Much attention is now being paid to the vertebrate immune system as a potential source of such inspiration, where it is thought that different ideas and alternative solutions can be obtained in addition to other biologically inspired methods. Given this increase in attention to the immune system, it seems appropriate to explore this area in some detail. By analogy, how the IS recognizes foreign molecules analyzed as an artificial immune system will detect a foreign device based on comparing certain information with a pattern using either the Hamming rule or the r-sequence matching rule.

Unfortunately, the final decision on identifying a corporate network device based on one's own experience is based on the experience and opinion of the network administrator; so there is a need to develop an automated decision-making system that can be based on fuzzy logic and based on existing IDS. In this paper, it is proposed to analyze the bit string of information as a basis for further construction of a fuzzy decision-making system.

Key words: *corporate network, self / nonself, Hamming match rule, r-contiguous match rule, artificial immune systems.*

УДК 004.031.42: 004.383.8: 004.896
DOI

Красовський М.В.

Хмельницький національний університет

Горошко А.В.

Хмельницький національний університет

Медзатий Д.М.

Хмельницький національний університет

Стецюк В.М.

Хмельницький національний університет

КОНЦЕПЦІЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КООПЕРАТИВНОЇ РОБОТОТЕХНІКИ

Проведений аналіз відомих методів і рішень у галузі кооперативної робототехніки свідчить про те, що при чималій кількості ефективних рішень залишається ряд невирішених питань, які є важко формалізованими та потребують використання компонентів штучного інтелекту для їх вирішення, серед яких найважливішими є потреба представлення спільного виробничого середовища, а також потреба забезпечення зрозумілості відповідних знань та інформації кооперативному(им) роботу(ам) (коботу(ам)). Враховуючи, що ринок коботів прогнозовано досягне 12 303 млн дол. США до 2025 р. із 710 млн дол. США у 2018 р., тобто зросте на 50,31% протягом 2018–2025 рр., актуальною задачею є раціональне планування та підвищення якості аналізу інформації, якою обмінюються люди та кооперативні роботи (коботи) у спільному середовищі, а також підвищення ефективності їх рішень. Розв'язання цієї задачі можна досягти шляхом розроблення багатофункціональної системи кооперативної робототехніки на основі онтологічного підходу, що і є метою нашого дослідження. У статті представлена концепція багатофункціональної системи кооперативної робототехніки на основі онтологічного підходу. Ця система базується на інтелектуальних агентах на основі онтологічного підходу, всі спільні знання системи представляються у вигляді онтологій. Представлена структура багатофункціональної системи кооперативної робототехніки розглядає і коботів, і людей як актантів спільного виробничого середовища, за рахунок чого вони мають доступ до всіх задач, повідомлень і спільних знань багатофункціональної системи кооперативної робототехніки. Використання онтологій забезпечує такі переваги для розробленої системи: обробку складних завдань і «розуміння» природомовних завдань і повідомлень; планування й аналіз інформації, отриманої кожним окремим агентом і коботом; підвищення ефективності рішень агентів і коботів; формалізація семантики «здорового глузду»; прискорення та підвищення якості опрацювання природомовної інформації.

Ключові слова: кооперативна робототехніка, кооперативний робот (кобот), спільне виробниче середовище, багатофункціональна система кооперативної робототехніки, інтелектуальний агент на основі онтологічного підходу.

Постановка проблеми. Ключовим для Industry 4.0 є питання використання автономних промислових роботів [1]. Кооперативна робототехніка – це нова галузь промислової робототехніки, яка дає можливість спільного виробництва. Спільне виробництво значною мірою залежить від наявності кооперативного робота (кобота). Кобот – це промисловий робот, оснащений системою сенсорів і комп'ютерного зору, який може з високим ступенем ймовірності попереджати зіткнення з людиною та перешкодами. Такі роботи призначені для використання в тісній кооперації з людьми,

поруч із ними. Кобот повинен мати такі якості, як: відсутність необхідності в інтеграції (вся система повинна бути роботоздатною одразу); відсутність необхідності у програмуванні або навчанні (кобот повинен бути готовим до роботи за лічені хвилини); наявність широких функційних можливостей; наявність розвинутої логіки для роботи з урахуванням навколишньої обстановки, включаючи автоматичне відновлення після збоїв; забезпечення безпеки при експлуатації (навіть при зіткненні з оператором на повному ході) [2]. Основна задача коботів – допомогти розв'язати складні

задачі, які неможливо автоматизувати, оскільки кобот змінює поняття автоматизації від повністю автоматизованих до напівавтономних операцій, де рішення працівника впливатимуть на дії кобота, і навпаки [3]. Потенційна галузь їх застосування – всі види виробництва (в т. ч. легка і харчова промисловість), офісна робота, соціальна сфера [4].

Враховуючи, що ринок коботів прогнозовано досягне 12 303 млн дол. США до 2025 р. із 710 млн дол. США у 2018 р., тобто зросте на 50,31% протягом 2018–2025 рр. [4], *актуальною задачею* є раціональне планування та підвищення якості аналізу інформації, якою обмінюються люди та коботи у спільному середовищі, а також підвищення ефективності їх рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Спільне виробниче середовище – це середовище, де робот і людина можуть виконувати завдання одночасно під час автоматичної роботи [5–7]. Усі компоненти кооперативної системи спілкуються й обмінюються своїми знаннями, обробляють загальну інформацію. Ці знання та інформація зазвичай подані природною мовою, що повинна бути зрозумілою для кобота.

Аналіз відомих методів і рішень у галузі кооперативної робототехніки, проведений у [8], свідчить про те, що залишається ряд невирішених питань:

1) як кооперативна робототехнічна система може обробляти більш складні завдання, які можуть вирішувати люди;

2) як забезпечити надійність руху фізичної кооперативної робототехнічної системи у реальному світі;

3) як більш раціонально спланувати та проаналізувати інформацію, отриману кожним окремим роботом (а потім зробити їхні рішення більш ефективними);

4) як організувати легке втручання людини до кооперативної робототехнічної системи відповідно до потреб;

5) як формалізувати семантику «здорового глузду»;

6) яку обрати форму для представлення спільного виробничого середовища та компонентів;

7) як прискорити та підвищити якість опрацювання природомовної інформації.

Всі зазначені невирішені проблеми є важко формалізованими та потребують використання компонентів штучного інтелекту для їх вирішення. Є ряд рішень, у яких компоненти штучного інтелекту ефективно використовуються для галузі кооперативної робототехніки, але однією із причин значної кількості невирішених питань (зокрема

проблеми аналізу інформації у спільному кооперативному середовищі) є розрізненість наявних рішень. У галузі кооперативної робототехніки є ряд ефективних рішень використання онтологій як основи багатофункціональної кооперативної робототехнічної системи, але всі вони належать до різних методологічних підходів і не інтегруються між собою, тобто відсутня багатофункціональна система кооперативної робототехніки.

Постановка завдання. *Метою дослідження* є підвищення якості аналізу інформації, якою обмінюються люди та коботи у спільному середовищі, а також підвищення ефективності їхніх рішень шляхом розроблення багатофункціональної системи кооперативної робототехніки на основі онтологічного підходу.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Кооперативне застосування, природне для задач кооперативної робототехніки, передбачає абсолютну безпеку, високу функційну гнучкість та автономність використовуваних роботів (коботів). Для цього необхідне розроблення нових систем і технологій у галузі управління, створення нових конструктивних рішень, розроблення алгоритмів планування та виконання рухів, які забезпечують безпеку фізичної взаємодії людини та кобота.

Враховуючи те, що проста схема дворівневого планування завдань не підходить для кооперативного спільного виробничого середовища, важливою є багат шарова схема багатофункціональної системи кооперативної робототехніки, яка включає аналіз завдань, узгодження завдань, виконання завдань і нагляд за завданнями. Важливою також є вимога обміну інформацією, оскільки кобот у команді може тільки сприймати місцеву інформацію. Нині багато завдань все ще надто складні для коботів, і координація між людьми і коботами повинна бути забезпечена.

Спільне виробниче середовище включає кобота, співробітників та інші компоненти виробництва (в т. ч. продукт). Усі компоненти кооперативної системи виробництва повинні спілкуватися й обмінюватися своїми знаннями, обробляти загальну інформацію.

Багатофункціональна система кооперативної робототехніки є розподіленою інтелектуальною системою, в якій використовуються спільні знання, реалізується можливість повторного використання знань. Система складається із множини досить самостійних модулів (агентів), що працюють у межах цієї системи й обмінюються знаннями з іншими її модулями за допомогою повідомлень. У цій системі коботи і люди працюють

як команда у спільному робочому середовищі. Кожен із них має свої завдання й обов'язки, які вимагають взаємної координації та спілкування.

Знання та інформація, якими обмінюються усі компоненти корпоративної системи, подані природною мовою, що повинна бути зрозумілою для кобота і для агентів, і це забезпечується за рахунок використання онтологій. Для моделювання предметних галузей, для яких застосовуються коботи, найчастіше використовуються саме онтології.

Онтологія – це сукупність концепцій, здатних моделювати терміни лексики в галузі знань. Онтології забезпечують краще розуміння контекстуальних знань. З погляду обчислювальної науки, онтологія визначається як концепція для моделювання структури системи. Наприклад, відповідні сутності та взаємозв'язки, які існують зі спостережень, корисні для конкретних цілей. Онтології пов'язані з виявленням і моделюванням реальності під конкретними перспективами. Вони зосереджуються на структурі та природі об'єкта, також посиляються на репрезентативні знання, можуть описувати абстрактні (робочі процеси, знання чи завдання), а також реальні речі (пристрої) [9; 10].

Структура багатофункціональної системи кооперативної робототехніки на основі онтологічного підходу представлена на рис. 1.

Базою розробленої багатофункціональної системи кооперативної робототехніки на основі онтологічного підходу є інтелектуальні агенти на основі онтологічного підходу для аналізу завдань, координації завдань, виконання завдань і нагляду за ними. Інтелектуальні агенти – це системи, що знаходяться всередині та є частинами спільного виробничого середовища, які сприймають це середовище та діють на нього в часі відповідно до своїх сценаріїв. Ці агенти діють, спрямовуючи свою діяльність на досягнення цілей, на навколишнє середовище, використовуючи спостереження. Інтелектуальні агенти також вивчають і використовують спільні знання для досягнення своїх цілей. Агенти поступово пристосовують нові правила вирішення проблем, адаптуються в режимі реального часу, навчаються та вдосконалюються завдяки взаємодії з навколишнім середовищем (за спільними знаннями), аналізують себе з погляду поведінки, помилок та успіху. Інтелектуальні агенти на основі онтологічного підходу використовуються для автономного збору інформації за регулярним, запрограмованим розкладом або за запитом користувача (кобота або особи) в режимі реального часу. Агенти можуть вільно вибирати між різними діями. Ці агенти беруть на

себе ініціативу щодо пошуку найкращого плану дій для досягнення поставлених цілей з урахуванням поточної ситуації та минулого досвіду, а потім діють у спільному виробничому середовищі. Запропоновані агенти описуються їх оточенням (динамічний опис), діями (зміними середовища, спричиненими агентом), бажаннями (загальна політика чи цілі агента), архітектурою вибору дій (агент вирішує, що робити далі, на основі його внутрішнього стану, стану світу та поточної мети).

Розглянемо *переваги розробленої багатофункціональної системи кооперативної робототехніки* на основі онтологічного підходу. Пропонована система та інтелектуальні агенти на основі онтологічного підходу, які її складають, можуть обробляти складні завдання та «розуміти» природомовні завдання та повідомлення за рахунок використання онтологій. Використання онтологій для представлення спільних знань допомагає більш раціонально спланувати та проаналізувати інформацію, отриману кожним окремим агентом і коботом, а також роблять рішення агентів і коботів більш ефективними. Представлена структура багатофункціональної системи кооперативної робототехніки організовує легке втручання людини до системи, оскільки люди входять до запропонованого спільного виробничого середовища та мають доступ до всіх задач, повідомлень і спільних знань багатофункціональної системи кооперативної робототехніки. Використання онтологій у структурі багатофункціональної системи кооперативної робототехніки забезпечує формалізацію семантики «здорового глузду», а також дозволяє прискорити та підвищити якість опрацювання природомовної інформації.

Отже, запропонована багатофункціональна система кооперативної робототехніки на основі онтологічного підходу вирішує ряд невирішених проблем у галузі кооперативної робототехніки за рахунок використання компонентів штучного інтелекту (зокрема онтологій, які є найефективнішими структурами для роботи із природомовними текстами та для формалізації предметних галузей). Так, запропонована багатофункціональна система кооперативної робототехніки ефективна для індустрії кооперативної робототехніки, оскільки вирішує низку важко формалізованих завдань цієї галузі.

Через виробниче середовище кобота надходять величезні обсяги даних щодня, водночас є проблема забезпечення безпеки кобота та всіх даних спільного кооперативного середовища, в якому люди, коботи та комп'ютерні пристрої спілкуються і співпрацюють один з одним.

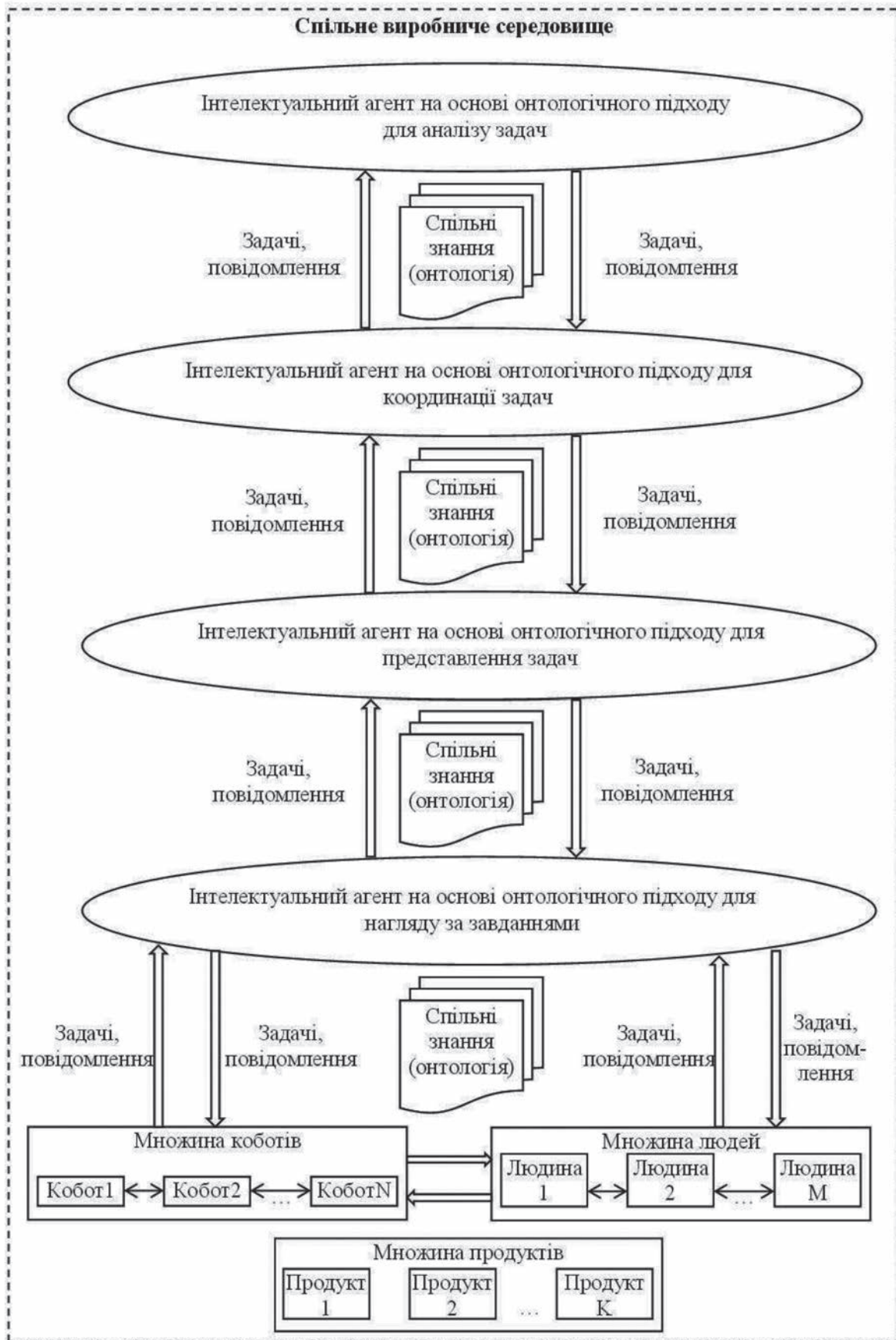


Рис. 1. Структура багатofункціональної системи кооперативної робототехніки

Висновки. Проведений аналіз відомих методів і рішень у галузі кооперативної робототехніки свідчить про те, що за чималої кількості ефективних рішень у галузі залишається ряд невирішених питань, які є важко формалізованими та потребують використання компонентів штучного інтелекту для їх вирішення, серед яких найважливішими є потреба представлення спільного виробничого середовища, а також потреба забезпечити зрозумілість відповідних знань та інформації коботу(ам).

У статті представлена концепція багатофункціональної системи кооперативної робототехніки на основі онтологічного підходу. Ця система базується на інтелектуальних агентах на основі онтологічного підходу, всі спільні знання системи представляються у вигляді онтологій. Використання онтологій забезпечує такі переваги для розробленої системи, як: обробка складних завдань і «розуміння» природомовних завдань і повідо-

млень; планування й аналіз інформації, отриманої кожним окремим агентом і коботом; підвищення ефективності рішень агентів і коботів; формалізація семантики «здорового глузду»; прискорення та підвищення якості опрацювання природомовної інформації. Представлена структура багатофункціональної системи кооперативної робототехніки на основі онтологічного підходу розглядає і коботів, і людей як актантів спільного виробничого середовища, за рахунок чого вони мають доступ до всіх задач, повідомлень і спільних знань багатофункціональної системи кооперативної робототехніки.

Майбутні дослідження авторів будуть спрямовані на: 1) розроблення теоретичної основи для розумного виробничого середовища з метою забезпечення безпеки кобота та всіх даних спільного кооперативного середовища; 2) реалізацію пропонованої багатофункціональної системи кооперативної робототехніки на основі онтологічного підходу.

Список літератури:

1. Embracing Industry 4.0 and Rediscovering Growth: Nine Technologies Transforming Industrial Production. URL: <https://www.bcg.com/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth.aspx#9-70522-2> (Дата звернення: November 4, 2020).
2. Innovation in robotics and safety. URL: <https://controlengrussia.com/innovatsii/innovatsii-v-robototekhnike-i-bezopasnost/> (Дата звернення: November 4, 2020).
3. Sadik A.R., Urban B. Towards a Complex Interaction Scenario in Worker-cobot Recon-figurative Collaborative Manufacturing via Reactive Agent Ontology. URL: <https://www.scitepress.org/papers/2017/64872/pdf/index.html> (Дата звернення: November 4, 2020).
4. Collaborative robot market projected to grow at a CAGR of 50.31% from 2018 to 2025. URL: <https://www.reportsreports.com/reports/650005-collaborative-robots-market-by-payload-up-to-5-kg-up-to-10-kg-above-10-kg-application-industry-and-geography-global-forecast-to-2022.html> (Дата звернення: November 4, 2020).
5. ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices. Collaborative robots. [Introduced 01.02.2016]. Geneva (Switzerland), 2016. 33 p. (International standard).
6. Bosansky B., Pechoucek M. Distributed Constraint Programming. URL: https://cw.fel.cvut.cz/old/_media/courses/be4m36mas/9.pdf (Дата звернення: November 4, 2020).
7. Sadik A.R., Urban B. An Ontology-Based Approach to Enable Knowledge Representation and Reasoning in Worker-Cobot Agile Manufacturing. URL: https://pdfs.semanticscholar.org/4b39/2a09923070b9481c2c98ad0322c49a73b850.pdf?_ga=2.250716742.1163312537.1604501487-851691280.1461604441 (Дата звернення: November 4, 2020).
8. Hovorushchenko T., Boyarchuk A., Borovyk O., Medzaty D., Krasovskiy M. Structure of Multifunctional Cooperative Robotics System based on the Ontological Approach. *CEUR-WS*. 2020. Vol. 2623. P. 47–56.
9. Hovorushchenko T., Pavlova O. Method of Activity of Ontology-Based Intelligent Agent for Evaluating the Initial Stages of the Software Lifecycle. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. Vol. 836. P. 169–178.
10. Hovorushchenko T. Methodology of Evaluating the Sufficiency of Information for Software Quality Assessment According to ISO 25010. *Journal of Information and Organizational Sciences*. 2018. Vol. 42. № 1. P. 63–85.

Krasovskiy M.V., Horoshko A.V., Medzaty D.M., Stetsiuk V.M. THE CONCEPT OF THE MULTIFUNCTIONAL SYSTEM OF COOPERATIVE ROBOTICS

The conducted analysis of the known methods and decisions in the field of cooperative robotics shows that with a considerable number of effective decisions in the industry there are still a number of unresolved issues that are difficult to formalize and require the use of artificial intelligence components to solve them, among which the most important are the need for the representation of joint production environment, and the need to ensure that the relevant knowledge and information is clear for the cooperative robot(s) (Cobot(s)). Considering that the cobot market will predictably reach \$ 12303 million to 2025 from \$ 710 million in 2018,

i.e. it will increase by 50.31% during 2018–2025, the actual task now is rational planning and improving the quality of analysis of the information, which humans and cobots exchange in the joint environment, as well as improving the effectiveness of the decisions of persons and cobots. The solve of this task can be accomplished by developing the multifunctional system of cooperative robotics based on the ontological approach, which is the purpose of this research. In this paper, the concept of the multifunctional system of cooperative robotics based on the ontological approach is proposed. This system is based on ontology-based intelligent agents (OBIAs), all joint knowledge of the system is represented as ontologies. The developed structure of the multifunctional system of cooperative robotics based on the ontological approach considers both cobots and humans as actants of the cooperative joint production environment, whereby they have access to all the tasks, messages, and joint knowledge of the multifunctional cooperative robotics system. The use of ontologies provides the following advantages for the developed system: processing of complex tasks and “understanding” of natural-language tasks and messages; planning and analysis of the information by each agent and the cobot; increasing the effectiveness of agents’ and cobots’ decisions; formalization of the “common sense” semantics; accelerating and improving the quality of processing natural-language information.

Key words: cooperative robotics, cooperative robot (cobot), joint production environment, multifunctional system of cooperative robotics, ontology-based intelligent agent.

Кузьма К. Т.

Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ РІВНЯ ПОДІБНОСТІ РЯДКІВ НА ОСНОВІ МЕТОДУ N-ГРАМ

Обробка текстів, поданих природною мовою, – одна з головних задач комп'ютерної лінгвістики. Наряду з підвищенням результативності, якості обробки текстів важливими питаннями є просторова й обчислювальна ефективність алгоритмів обробки. Тому дослідження методів, які легко масштабуються, мають лінійну складність, у задачах обробки текстів є актуальним.

За результатами дослідження запропоновано інформаційну технологію (ІТ) для попередньої обробки текстових відповідей в автоматизованих системах тестування з метою визначення подібності відповіді й еталону. ІТ базуються на використанні синтаксичного аналізу тексту, а саме на методі N-грам. N-грамами є групи символів (від двох до п'яти), які йдуть поспіль. Для N-грам обчислюється коефіцієнт подібності кожного слова відповіді й еталону, застосовуючи індекс Жаккара. Слова вважаються подібними, якщо коефіцієнт подібності не менше заданого граничного значення (від 0,3 до 0,5). На останньому етапі визначається загальний коефіцієнт подібності для всіх слів відповіді. Повторюючи процедури циклічно для усіх груп символів, визначаємо максимальне значення коефіцієнту подібності відповіді й еталону. Якщо це значення менше за граничний коефіцієнт подібності, то не потрібно виконувати подальший етап обробки відповіді, оскільки вона не відповідає еталону. Застосування N-грам для символів слова, а не для слів, які йдуть підряд, дозволяє підвищити результативність процедури зіставлення слів.

За підсумками порівняння ІТ із методом латентно-семантичного аналізу (LSA) встановлено, що результативність методу N-грам висока для синтаксично подібних структур відповіді й еталону. Якщо структури речень відповіді й еталону значно відрізняються, то метод N-грам порівняно з LSA дає нижчий результат, оскільки він не враховує семантичні класи, на відміну від LSA.

Визначено, що подальшого дослідження потребують питання застосування «нейронних мереж» у задачах семантичного аналізу подібності текстів, об'єднання технологій синтаксичного та семантичного аналізу рядків.

Ключові слова: обробка природної мови, N-грами, подібність рядків, індекс Жаккара, синтаксичний аналіз.

Постановка проблеми. Сьогодні застосування N-грам є актуальним для задач комп'ютерної лінгвістики (обробка природної мови (Natural language processing), виявлення плагіату, машинне навчання), обчислювальної біології (пошук генетичних послідовностей), стиснення даних тощо. Основними перевагами методів і моделей, які базуються на використанні N-грам, є простота їх реалізації та лінійна складність. Враховуючи ці особливості N-грам, у рамках дослідження задачі автоматизованої обробки текстів, поданих природною мовою [1–3], детального вивчення потребують питання застосування N-грам для попередньої оцінки подібності відповіді й еталону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Метод N-грам – один із розповсюджених підходів, який застосовується для визначення показника схожості рядків. У роботах [4–8] досліджені різні аспекти використання цього методу в задачах обробки природної мови.

У [4] як N-грами розглядаються підрядки розміром два слова, які отримують із вхідного рядка із зсувом на одне слово.

У [5] N-грамами є підрядки, розмір яких змінюється від одного до чотирьох слів залежно від довжини вхідного рядка й еталону.

Авторами робіт [6; 7] метод N-грам застосовується для оцінки подібності текстів-перекладів (машинного перекладу та перекладу, здійсненого людиною). Розмір N-грам також змінюється від 1 до 4. Частота кожної N-грами тексту машинного перекладу (еталон) обмежується частотою, з якою вона зустрічається в текстах-перекладах (відповідях), які виконали люди. Відповідно, N-грама, яка зустрічається дуже часто в еталоні, не збільшує своє значення, якщо вона всього декілька разів зустрічається у відповідях. Остаточна оцінка подібності відповіді й еталону обчислюється як результат зваженої суми логарифмів різних значень N-грам.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка інформаційної технології для попередньої обробки відповідей, поданих у довільній текстовій формі, в автоматизованих системах тестування з метою визначення подібності відповіді й еталону. Попередній етап обробки – це етап, який не вимагає значних обчислювальних і часових ресурсів, але дозволяє зробити висновок щодо необхідності подальшого, більш детального аналізу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нехай $X[n]$ – масив слів відповіді, поданої у текстовій формі, $Y[m]$ – масив слів еталону (правильної відповіді). Необхідно оцінити ступінь «схожості, подібності» масивів.

Для вирішення цієї задачі запропоновано інформаційну технологію, яка дозволяє попередньо оцінити ступінь подібності відповіді й еталону. Передбачається виконання процедури синтаксичного аналізу у декілька етапів:

1) На першому етапі визначається коефіцієнт подібності кожного слова відповіді й еталону.

2) На другому етапі обчислюється загальний коефіцієнт подібності для всього масиву слів $X[n]$ та $Y[m]$.

Виконання першого етапу базується на використанні N-грам. N-грамами ($N=2..5$) є символи, які йдуть поспіль. Спочатку N-символів першого слова відповіді порівнюються з N-символами першого слова еталону. Символи здвигаются циклічно (якщо $N=2$, то символи перебираються наступним чином: два символи, починаючи з 1-го, на наступній ітерації – два символи, починаючи з другого, і так далі до кінця слова). Для порівняння N-грам доцільно застосовувати методи порівняння рядків певної мови програмування, якою реалізовується алгоритм. Наприклад, для мови C# це метод Equals().

Коефіцієнт подібності, який може набувати значення від 0 до 1, обчислюється за формулою Жаккара [8, с. 101]:

$$k = a / (b + c - a) \quad (1)$$

Для слів a – кількість N-грам (групи символів), що збігаються, слова відповіді й еталону, b – довжина слова відповіді, c – довжина слова еталону.

Слова відповіді й еталону вважаються подібними, якщо коефіцієнт подібності більший за граничний коефіцієнт. Граничний коефіцієнт відображає вимоги до відсотка символів, що збігаються, слова еталону та відповіді. Якщо, наприклад, значення коефіцієнту дорівнює 0,3, це означає, що 30% символів слів еталону та відповіді однакові. Внаслідок тестування встановлено реко-

мендаційне значення граничного коефіцієнту від 0,3 до 0,5. Чим більше значення граничного коефіцієнту, тим більша частина, що збігається, слів відповіді й еталону.

Далі процедура повторюється для усіх слів відповіді й еталону. На останньому етапі обчислюємо значення подібності всього набору слів за формулою (1). Для всіх набору слів a – кількість подібних слів відповіді й еталону, b – кількість слів відповіді, c – кількість слів еталону.

Повторюючи процедури циклічно для ($N=2..5$), визначаємо максимальне значення коефіцієнту подібності відповіді й еталону. Якщо це значення менше за граничний коефіцієнт подібності (0,3), то не потрібно виконувати подальший етап обробки відповіді, оскільки вона не відповідає еталону.

Застосування N-грам для символів слова, а не для слів, які йдуть поспіль, дозволяє підвищити результативність процедури зіставлення слів. Слова-синоніми записуються в дужках після основного слова в еталоні, що дозволяє скоротити час заповнення бази правильних відповідей і, відповідно, час перевірки наданої відповіді.

У табл. 1. частково представлено результати тестування. Порівняння результатів здійснювалося з коефіцієнтом латентно-семантичного аналізу (LSA), для визначення якого застосовувався ресурс [9]. Додатне значення («+» в таблиці) показує, наскільки отриманий результат більше (менше, якщо «-») за LSA.

Порівнюючи з коефіцієнтом LSA, можна зробити висновок, що ІТ забезпечує достатній рівень зіставлення. Технологія латентно-семантичного аналізу дає кращі результати (другий, п'ятий рядки), коли відповідь синтаксично відрізняється від еталону. Це зумовлено тим, що метод N-грам є синтаксичним методом, він не враховує семантичні класи, на відміну від LSA.

Оскільки метод має лінійну складність, його застосування ефективно під час попередньої обробки вхідної відповіді. Перевагою ІТ є можливість врахування синонімів і випадкового порядку розташування слів у відповіді й еталоні.

Висновки. Дослідження методів порівняння рядків є актуальною задачею у сфері обробки текстів, поданих природною мовою. Оскільки процедура визначення подібності відповіді й еталону як на основі синтаксичних, статистичних методів, так і на основі семантичних класів, фонетичних методів потребує значних обчислювальних і часових ресурсів, доцільно застосовувати швидкий, із лінійною складністю, легко масштабований алгоритм попередньої оцінки рівня подібності

Результати випробування інформаційної технології

Відповідь	Еталон	k	LSA	Δ
Сервер-проксі	Проксі-сервер	1	1	0
одиначний потік команд та одиничний потік даних	один потік команд і один потік даних	0,86	0,88	-0,02
createthread	CreateThread()	1	0,65	+0,35
узгодження роботи потоків під час звернення до загальних ресурсів,	організація узгодженої (дружньої) роботи із загальними ресурсами,	0,5	0,75	-0,25
всесвітня мережа, до складу якої входять локальні, глобальні та інші мережі	глобальна (всесвітня) мережа, яка є сполученням (об'єднанням) локальних, регіональних і глобальних мереж	0,5	0,4	+0,1
Одночасне виконання двох і більше задач у рамках операційної системи. Класифікація видів багатозадачності: кооперативна, істина	властивість(можливість) операційної системи або середовища програмування одночасного (паралельного) виконання декількох (двох і більше) потоків (процесів, задач). Види (класифікація) багатозадачності: істинна, невитісняюча (кооперативна), витісняюча	0,49	0,43	+0,06

k (діапазон $[0; 1]$) – коефіцієнт подібності відповіді й еталону; LSA (діапазон $[-1; 1]$) – коефіцієнт узгодженості відповіді й еталону за технологією латентно-семантичного аналізу; $\Delta = k - LSA$.

рядків. На основі методу N-грам і коефіцієнту Жаккара запропоновано IT попередньої оцінки рівня подібності рядків. Застосування N-грам до груп символів, а не для слів дозволяє ефективно оцінити синтаксичну подібність відповіді й ета-

лону. Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення питань застосування «нейронних мереж» у задачах семантичного аналізу подібності текстів, об'єднання технологій синтаксичного та семантичного аналізу рядків.

Список літератури:

1. Кузьма К.Т. Аналіз методів перевірки відповіді в системах тестування, поданої в текстовій формі». *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2019. Т. 29 (68) № 1, Ч. 1. С. 163–167. URL: http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/1_2018/part_1/30.pdf (дата звернення: 08. 11. 2020).
2. Кузьма К.Т., Мельник О.В. Обчислювальна технологія перевірки відповідей у системах тестування. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки* 2020. Т. 31 (70) № 1. Ч. 1. С. 85–88. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-1/15>.
3. Кузьма К.Т. Інформаційна технологія перевірки відповідей в інтелектуальній автоматизованій системі контролю знань. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2020. № 4. С. 58–66. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-151-4-58-66>.
4. Вихтенко Э.М., Карманов Д.А., Син Д.З. Информационная система «Плагат в программах студентов». *Вестник ТОГУ*. 2019. № 3 (54). С. 25–34.
5. Kumar, Praveen & Narendra, & Vimal, Bibhu & Islam, Md & Shashank, Bhardwaj. Approximate string matching Algorithm. (*IJCSE*) *International Journal on Computer Science and Engineering*. Vol. 02. № 03. 2010. P. 641–644. URL: https://www.researchgate.net/publication/49617308_Approximate_string_matching_Algorithm ().
6. Perez D., Gliozzo A., Strapparava C., Alfonseca E., Rodriguez P., Magnini B. Automatic assessment of students' free-text answers underpinned by the combination of a bleu-inspired algorithm and latent semantic analysis. *Proceedings of the Eighteenth International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference*. Ed. Ingrid Russell and Zdravko Markov. California: AAAI Press. 2005. P. 358–363. URL: <https://www.aaai.org/Papers/FLAIRS/2005/Flairs05-059.pdf> (дата звернення: 4.11.2020).
7. Perez Diana, Alfonseca Enrique. Application of the Bleu algorithm for recognising textual entailments. *PASCAL First Challenges Workshop, Southampton*. 2005. URL: http://u.cs.biu.ac.il/~nlp/RTE1/Proceedings/perez_and_alfonseca.pdf (дата звернення: 4.11.2020).
8. Словник-довідник з екології / уклад. О.Г. Лановенко, О.О. Остапішина. Херсон : ПП Вишемирський В.С., 2013. 226 с.
9. Latent Semantic Analysis @ CU Boulder. Sentence Comparison [Online]. URL: <http://lsa.colorado.edu/SentenceComparison>.

Kuzma K.T. INFORMATION TECHNOLOGY FOR ASSESSING THE LEVEL OF STRING MATCHING BASED ON THE N-GRAM METHOD

Natural language processing is one of the main tasks of computational linguistics. Along with improving the efficiency, quality of word processing, important issues is the time and computational efficiency of processing algorithms. Therefore, a research of methods that are easily scalable, have a linear complexity in word processing problems is relevant.

According to the results of the research, information technology (IT) was proposed for pre-processing of text answers in automated testing systems in order to determine the similarity of the answer and the standard. IT is based on the use of text parsing, named the N-gram method. N-grams are groups of characters (from two to five characters) that follow in a row. For N-grams, the similarity coefficient of each answer word and standard is calculated using the Jacquard index. Words are considered similar if the similarity coefficient is not less than the specified limit value (from 0.3 to 0.5). At the last stage the general similarity coefficient for all words of the answer is defined. Repeating the procedure cyclically for all groups of symbols determines the maximum value of the matching of the answer and the standard. If this value is less than the marginal similarity factor, then no further processing of the response is required, as it does not match the standard. Applying N-grams to word symbols, rather than words that follow in a row, can increase the effectiveness of the word matching procedure.

Based on the results of comparing IT with the method of latent-semantic analysis (LSA), it was found that the effectiveness of the method of the N-gram is high for syntactically similar answer structures and standards. If the sentence structures of the answer and the standard are significantly different, then the N-gram method in comparison with LSA gives a lower result, because it does not take into account the semantic classes in contrast to LSA.

It is determined that further research is needed on the application of “neural networks” in the tasks of semantic analysis of text similarity, combining technologies of parsing and semantic analysis of strings.

Key words: *natural language processing, N-gram, string matching, Jacquard index, parsing.*

Лавданська О.В.

Черкаський державний технологічний університет

АНАЛІЗ РИЗИКІВ ПРОСУВАННЯ ОНЛАЙН-КУРСІВ

У статті розглядається задача оцінювання й аналізу ризиків проекту просування на ринок онлайн-курсу. Визначено типи ризиків, які супроводжують проект просування на ринок онлайн-курсу: погіршення репутації проекту, відхилення від запланованого бюджету проекту, відхилення від запланованого обсягу продажу курсу, відхилення від запланованих термінів реалізації проекту. Прояву наведених груп ризиків сприяє поява внутрішніх і зовнішніх факторів ризику. Джерелом внутрішніх факторів ризику можуть бути: онлайн-курс як продукт, трудові ресурси та технології реалізації онлайн курсу. Похідними зовнішніх факторів ризику є нормативно-правова база, ринок праці та споживчий ринок. Наведено змістовний опис кожного фактору. Для кількісного оцінювання й аналізу впливу факторів на результати просування на ринок онлайн-курсу визначено ймовірність прояву фактору і величину спричинених ними негативних наслідків. Опис факторів ризику проведено в якісних шкалах, а для їх кількісної інтерпретації використані інтервальні оцінки. Побудовано нечітку модель прийняття рішень щодо управління ризиками проекту просування на ринок онлайн курсу. На початковому етапі побудови нечіткої моделі виконано ідентифікацію факторів ризику. Виділено п'ятнадцять вхідних лінгвістичних змінних, які впливають на ризики проекту, і три вихідні змінні (міра впливу факторів на загальний ризик, міра скорочення обсягу продажів, міра збільшення бюджету проекту). Побудовано дві бази правил: правила першої бази використовуються для визначення міри впливу факторів на загальний ризик, правила другої бази використовуються для визначення міри ризикованості основних цілей проекту. Числові значення ризиків і сценарії реагування на ризики обчислені за допомогою алгоритму Цукамото. Розроблена нечітка модель може бути доповнена модифікованою базою правил способів реагування на ризик, що враховує правдоподібність і необхідність прояву ризику.

Ключові слова: оцінка, аналіз, ризик, фактор, онлайн-курс, алгоритм Цукамото.

Постановка проблеми. Останні роки відзначилися долученням освітніх закладів до популяризації формату онлайн-освіти. Серед них найбільшою популярністю користуються курси з IT-дисциплін, гуманітарних і суспільних наук, маркетингу. Ініціалізація просування на ринок онлайн-курсу потребує виконання практичних дій, які дозволили б одержати бажаний корисний ефект і сприяли б успішному завершенню проекту. Розробка проекту просування на ринок онлайн-курсу передбачає вивчення цільового ринку, визначення ринкового сегменту та цільової аудиторії, визначення структури курсу та механізму організації навчання, організацію комунікативної взаємодії. Складність реалізації такого проекту полягає у необхідності пристосування до динамічних умов ринкового середовища та вимог цільової аудиторії, збалансованості робіт і заходів проекту за наявності обмежуючих факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огляд відомих платформ онлайн-курсів наведено в [1]. Переваги та недоліки онлайн-освіти знаходимо у [2; 3]. Підходи до розгляду поняття ризику у науковій літературі описані в [4]. Класифікація проектних ризиків виконана у [5; 6]. Спектр

математичних моделей і методів оцінювання ризиків досить широкий і визначається специфікою розв'язуваної задачі. У роботі [7] наведено загальні підходи до оцінювання привабливості реалізації інноваційних проектів. Інструментальні методи оцінювання привабливості реалізації науково-технічних інвестиційних проектів розроблені в [8]. У [9; 10] побудовано моделі оцінювання ефективності методології управління проектом і вибору найкращої з них.

Постановка завдання. Актуальність керування ризиками проекту просування онлайн-курсу полягає у тому, що бізнес-компанії прямо залежать від працездатності самого курсу, від повноти охоплення та якості подання навчального матеріалу, від суперечливих бачень онлайн-курсу цільовою аудиторією, від платоспроможності цільової аудиторії, під конкурентного тиску сильних брендів із високим рівнем лояльності, від обмеженості ресурсів. Неповнота знань параметрів, наявність фактору випадковості та суб'єктивних факторів протидії значно ускладнюють процеси прийняття рішень в управлінні проектами. Наявність ризиків і невизначеності потребує аналізу всіх можливих альтернатив та обрання одного з можливих

варіантів рішень. Складність здійснення такого вибору полягає у тому, що найрентабельніші альтернативи зазвичай є найризикованішими.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Реалізацію проекту просування на ринок нового онлайн-курсу супроводжує проблема виникнення ризиків чотирьох типів:

- погіршення репутації;
- відхилення від запланованого бюджету проекту;
- відхилення від запланованого обсягу продажу курсу;
- відхилення від запланованих термінів реалізації проекту.

Прояву наведених груп ризиків сприяє поява внутрішніх і зовнішніх факторів ризику. Джерелом внутрішніх факторів ризику можуть бути: онлайн-курс як продукт, трудові ресурси та технології реалізації онлайн-курсу. Похідними зовнішніх факторів ризику є нормативно-правова база, ринок праці та споживчий ринок. Змістовний опис кожного фактору наведено у табл. 1.

Для кількісного оцінювання й аналізу впливу факторів на результати просування на ринок нового онлайн-курсу необхідно визначити ймовірність прояву факторів і величину спричинених ними негативних наслідків. Враховуючи високу міру невизначеності, опис факторів ризику доцільно проводити в якісних шкалах, а для їх кількісної інтерпретації – використовувати інтервальні оцінки (табл. 2).

Граничні значення ймовірності прояву факторів ризику та можливі збитки, спричинені проявом факторів ризику, визначаємо на основі рекомендацій щодо вибору шкал впливу ризику на цілі проекту, які наведено в [4], з урахуванням ринкової конкуренції онлайн-курсу.

Побудуємо нечітку модель прийняття рішень щодо управління ризиками проекту просування на ринок онлайн-курсу. Вартість онлайн-курсів визнається з урахуванням стану ринкового середовища і не може перевищувати вартості аналогічних онлайн-курсів, що представлені на ринку. Необхідно оцінити ризики проекту просування на ринок онлайн-курсу й обрати одну з можливих стратегій реагування на ризики: прийняття ризику, ухилення від ризику, передачу ризику, зниження ризику.

На початковому етапі побудови нечіткої моделі виконаємо ідентифікацію факторів ризику. Для формування висновку про ризикованість реалізації проекту просування на ринок онлайн-курсу використаємо такі показники:

- зміни нормативно-правового регулювання освітньої галузі (x_1);

- появу на ринку нових аналогічних курсів (x_2);
- помилковий вибір цільового сегменту (x_3);
- допущення помилок під час вибору каналів та інструментів комунікації (x_4);
- відсутність достатніх навичок використання інформаційних технологій просування онлайн-курсу у команди проекту (x_5);
- недостатнє опрацювання комунікаційних повідомлень (x_6);
- допущення помилок під час розрахунку працемісткості та фінансових витрат на розробку і просування онлайн-курсу (x_7);
- витік персональних даних (x_8);
- збій у роботі порталу (x_9);
- складність навчального матеріалу (x_{10});
- надлишковість / нестачу навчальних матеріалів і завдань (x_{11});
- невідповідність повноти охоплення матеріалу очікуванням цільової аудиторії (x_{12});
- складність самомотивації та самоорганізації навчання (x_{13});
- низьку кваліфікацію викладачів (x_{14});
- поширення фейкових відгуків про курс (x_{15}).

Наступним кроком є якісне та кількісне оцінювання факторів ризику. Для характеристики ймовірності прояву фактору ризику введемо лінгвістичну змінну W_1 із терм-множиною $W_1 = \{\text{дуже мала, незначна, помірна, велика, дуже велика}\}$. Для характеристики міри впливу фактору ризику введемо лінгвістичну змінну W_2 з терм-множиною $W_2 = \{\text{мала, незначна, помірна, критична, катастрофічна}\}$.

Загальну оцінку ризику проекту просування на ринок онлайн-курсу обчислюємо за допомогою алгоритму нечіткого логічного виведення Цукамото.

Для визначення міри впливу фактору на загальний ризик просування онлайн-курсу введемо лінгвістичну змінну «Міра впливу фактору на загальний ризик» із терм-множиною $W_3 = \{\text{мала, незначна, помірна, значна, катастрофічна}\}$.

Матриця відповідності можливого прояву фактору ризику та міри його впливу на загальний ризик наведена в табл. 3.

Інтерпретація наслідків прояву факторів ризику та можливі збитки наведені в табл. 4.

Для опису вихідних змінних «Скорочення обсягу продажу» і «Збільшення бюджету проекту» використаємо терм-множину $W_4 = \{\text{незначне, помірне, критичне, катастрофічне}\}$.

Способи реагування на ризик залежно від міри впливу ризику на обсяг продажу і бюджет проекту наведено в табл. 5.

Опис факторів ризику

№ з/п	Фактори	Умова	Наслідки	Вплив на цілі
1	зміни нормативного-правового регулювання освітньої галузі	прийняття нормативно-правових актів щодо регулювання освітньої галузі	необхідність внесення змін до організації освітнього процесу	збільшення бюджету проекту
2	поява на ринку нових аналогічних курсів	вихід на ринок нових аналогічних онлайн курсів	загострення конкуренції	скорочення обсягу продажу курсів
3	помилковий вибір цільового сегменту	помилки під час визначення ринкової ніші	невідповідність планових і фактичних показників результативності просування онлайн-курсу	скорочення обсягів продажу
4	допущення помилок під час вибору каналів та інструментів комунікації	зниження необхідного рівня інформування цільової аудиторії	невідповідність планових і фактичних показників результативності просування онлайн-курсу	скорочення обсягів продажу
5	відсутність достатніх навичок використання інформаційних технологій просування онлайн-курсу у команди проекту	помилки під час реалізації проекту	невідповідність планових і фактичних показників результативності просування онлайн-курсу	скорочення обсягів продажу
6	недостатнє опрацювання комунікаційних повідомлень	зниження необхідного рівня порозуміння із цільовою аудиторією	невідповідність планових і фактичних показників результативності просування онлайн-курсу	скорочення обсягу продажу
7	допущення помилок під час розрахунку працездатності та фінансових витрат на розробку і просування онлайн-курсу	прорахунки у розрахунку надходжень і витрат проекту	необхідність доопрацювання проекту	збільшення бюджету проекту, збільшення терміну реалізації проекту
8	витік персональних даних	помилки під час реалізації проекту	необхідність доопрацювання проекту	втрата репутації, перевищення бюджету проекту
9	збій у роботі порталу	збій у роботі провайдера, помилки під час реалізації проекту	нестача часу на роботу з електронними ресурсами, необхідність доопрацювання проекту	втрата репутації, скорочення обсягу продажу онлайн-курсу, перевищення бюджету проекту
10	складність навчального матеріалу	помилки під час реалізації проекту	необхідність доопрацювання онлайн-курсу	збільшення бюджету проекту
11	надлишковість / нестача навчальних матеріалів і завдань	помилки під час реалізації проекту	необхідність доопрацювання онлайн-курсу	збільшення бюджету проекту
12	невідповідність повноти охоплення матеріалу очікуванням цільової аудиторії	зниження необхідного рівня забезпечення цільової аудиторії навчальними матеріалами	необхідність доопрацювання онлайн-курсу	втрата репутації, скорочення обсягу продажу онлайн-курсу, збільшення бюджету проекту
13	складність самомотивації та самоорганізації навчання	помилки під час подачі матеріалу	необхідність доопрацювання курсу, необхідність підвищення кваліфікованості викладачів	втрата репутації, скорочення обсягу продажу курсів
14	низька кваліфікація викладачів	помилки під час вибору викладачів	відтік цільової аудиторії	втрата репутації, скорочення обсягу продажу
15	поширення фейкових відгуків про курс	посилення конкурентної боротьби	відтік цільової аудиторії	скорочення обсягу продажу

Таблиця 2

Кількісне оцінювання факторів ризику

Назва показника	Шкали				
	Ймовірність прояву фактору	дуже мала < 0,2	незначна 0,1–0,4	помірна 0,3–0,6	велика 0,5–0,8
Ймовірне скорочення обсягу продажу, збільшення бюджету проекту	мале	незначне	помірне	критичне	катастрофічне
	втрати менше 10%	втрати від 10% до 20 %	втрати від 15% до 40%	втрати від 30% до 60%	втрати більше 50%
Міра впливу фактору	мала	незначна	помірна	критична	катастрофічна
	0–2	3–4	5–6	7–8	9–10

Таблиця 3

Матриця нечітких правил

Міра впливу фактору ризику	Дуже велика	Незначна	Помірна	Помірна	Критична	Катастрофічна
	Велика	Незначна	Незначна	Помірна	Критична	Катастрофічна
	Середня	Мала	Незначна	Помірна	Помірна	Критична
	Нижче середнього	Мала	Незначна	Незначна	Помірна	Помірна
	Слабка	Мала	Мала	Незначна	Незначна	Помірна
Міра впливу фактору ризику на загальний ризик	Ймовірність настання фактору ризику					
	Дуже мала	Незначна	Помірна	Велика	Дуже велика	

Таблиця 4

Наслідки прояву факторів ризику

Фактор	Міра впливу фактору ризику	Скорочення обсягу продажу, %	Збільшення бюджету проекту, %
x_1	низька	незначне	незначне
	середня	незначне	незначне
	висока	помірне	помірне
x_2	низька	незначне	незначне
	середня	незначне	незначне
	висока	помірне	помірне
...			
x_{15}	низька	незначне	незначне
	середня	незначне	незначне
	висока	помірне	помірне

Таблиця 5

Способи реагування на ризик

	Збільшення бюджету проекту				
		1	2	3	4
Скорочення обсягів продажу	1	прийняття	прийняття	зниження	ухилення
	2	зниження	зниження	ухилення	ухилення
	3	ухилення	ухилення	ухилення	передача
	4	ухилення	ухилення	передача	передача

Для оцінки міри впливу факторів на загальний ризик сформовано базу знань із нечіткими правилами виду:

якщо $x \in W_1$ і $x \in W_2$, то $x \in W_3$.

Для оцінки можливого скорочення обсягу продажу та збільшення бюджету проекту сформовано базу знань із нечіткими правилами виду:

якщо $x \in W_3$ і $x \in W_4$, то $z \in W_5$,

де W_5 , – вихідна змінна «Спосіб реагування на ризик» із терм-множиною $W_5 = \{ \text{прийняття ризику, ухилення від ризику, передача ризику, зниження ризику} \}$.

Таким чином, функції належності для вхідних і вихідних змінних були одержані на етапі фазифікації. На етапі агрегації для всіх правил моделі були обчислені істинні значення передумов кожного із

правил. Нечіткі множини для вихідних змінних були одержані на етапі акумуляції. Числова оцінка вихідних змінних була одержана на етапі дефазифікації шляхом використання методу зваженого середнього.

Висновки. Наведений підхід дозволяє оцінити ризикованість просування на ринок онлайн-курсу. Суть підходу полягає в ідентифікації факторів ризику, виділенні лінгвістичних змінних ризику-

утворюючих факторів, формуванні правил переходу від значень лінгвістичних змінних до міри впливу фактору на загальний ризик і визначення способу реагування на ризик. Розроблена нечітка модель може бути доповнена модифікованою базою правил способів реагування на ризик, що враховує правдоподібність і необхідність прояву ризику.

Список літератури:

1. Осецький В.Л., Татомир І.Л. Роль масових відкритих онлайн-курсів у сучасному «освітньому ландшафті». *Економіка України*. 2017. № 12. С. 86–98. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk_2017_12_7.
2. Онлайн-освіта: за і проти на прикладі історій випускників Coursera, Udacity, Prometheus URL: <https://dou.ua/lenta/articles/mooc-stories/> (дата звернення 19.11.2020).
3. Онлайн-освіта: як здобувати знання в епоху діджиталізації. URL: <https://bazilik.media/onlajn-osvita-iak-zdobuvaty-znannia-v-epokhu-didzhytalizatsii/> (дата звернення 19.11.2020).
4. Авдошин С.М., Песоцкая Е.Ю. Информатизация бизнеса. Управление рискам. Москва : ДМК Пресс, 2011. 176 с.
5. Кучеренко В.Р., Кузнецов Е.А., Маркітан О.С. Управління проектами в підприємницьких структурах : навчальний посібник. Харків : Бурун Книга, 2010. 272 с.
6. Мазур И.И., Шапиро В.Д., Ольдерогге Н.Г. Управление проектами : учебное пособие. Москва : Омега, Л. 2009. 960 с.
7. Бендиков М.А. Оценка реализуемости инновационного проекта. *Менеджмент в России и за рубежом*. 2001. № 2. С. 27–43.
8. Хрусталёв О.Е., Хрусталёв Ю.Е. Инструментальные методы оценки реализуемости наукоемкого инвестиционного проекта. *Экономический анализ: теория и практика*. 2011. № 27. С. 8–18.
9. Кононенко И.В., Агаи А. Имитационное моделирование применения альтернативных методологий для управления проектом в области ИТ. *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. 2016. № 73. С. 74–86.
10. Бегутова Е.В. Разработка методики построения функции принадлежности для показателей системы нечеткого логического вывода о реализации ИТ-стратегии. *Экономика, Статистика, Информатика*. 2012. № 5. С. 169–172.

Lavdanska O.V. RISKS ANALYSIS OF PROMOTING ONLINE COURSES

The problem of assessing and analyzing the risks of the project to promote the online course considers in this paper. The formulation of the research task is executed. The types of risks that accompany the project of promoting the online course on the market are determined: deterioration of the project reputation, deviation from the planned project budget, deviation from the planned sales of the course, deviation from the planned project implementation dates. The manifestation of these risk groups is facilitated by the emergence of internal and external risk factors. The source of internal risk factors can be: online course as a product, labor resources and technologies for implementing the online course. Derivatives of external risk factors are the regulatory framework, the labor market and the consumer market. A meaningful description of each factor is given. To quantify and analyze the impact of factors on the results of promotion of the online course, the probability of manifestation of the factor and the magnitude of the negative consequences caused by them are determined. The description of risk factors is carried out in qualitative scales, and interval estimations are used for their quantitative interpretation. A fuzzy decision-making model for risk management of an online course promotion project constructed. At the initial stage of building a fuzzy model, the identification of risk factors was performed. Fifteen input linguistic variables that affect the risks of the project and three output variables (a measure of the impact of factors on the overall risk, a measure of reducing sales, a measure of increasing the project budget). Two bases of rules are constructed: the rules of the first base are used to determine the degree of influence of factors on the overall risk, the rules of the second base are used to determine the degree of risk of the main objectives of the project. Numerical values of risks and risk response scenarios were calculated using the Tsukamoto algorithm. The developed fuzzy model can be supplemented by a modified base of rules of risk response methods, which takes into account the credibility and the necessity for risk.

Key words: assessment, analysis, risk, factor, online course, algorithm Tsukamoto.

УДК 004.42
DOI

Левківський В.Л.

Державний університет «Житомирська політехніка»

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ПАЦІЄНТІВ

У статті представлено розробку інформаційної системи для віддаленого діагностування стану пацієнтів. Описано основні концептуальні положення, модулі для програмної реалізації, структуру бази даних системи, особливості реалізації базового функціоналу інформаційної системи.

Проведений аналіз предметної сфери дозволив визначити основні аспекти побудови інформаційної системи віддаленого діагностування стану пацієнтів. З огляду на ситуацію у країні і по всьому світу електронна медицина як ніколи є актуальною, і переваги таких систем не тільки можуть покращити послуги медичних закладів, а й допомогти зберегти людське життя. Огляд аналогів і виявлення суперечностей між наявними можливостями та потребами показав, що головними функціями майбутньої системи мають бути: оптимізація процесу роботи лікарів із пацієнтами; можливість віддаленого діагностування стану пацієнтів; оптимізація часу, який витрачають лікар і пацієнт на прийом.

Метою роботи є розробка програмного додатку, спеціалізованої системи для оптимізації роботи з пацієнтами медзакладів для покращення сервісу надання медичних послуг. Відповідно до мети роботи окреслено такі завдання: визначення основних процесів роботи медичних закладів та аналіз можливості перенесення їх в електронний вигляд; визначення алгоритмів та архітектури, що дозволять реалізувати поставлену мету; реалізацію додатку з можливістю підтримки та подальшого розвитку; тестування системи, остаточні висновки після аналізу результатів тестування. Об'єктом дослідження є процес роботи працівників медичних закладів із пацієнтами та допоміжних процесів. Предметом дослідження є оптимізація робочих процесів медичних закладів із використанням сучасних інформаційних технологій.

Було вирішено основні завдання та реалізовано базовий функціонал для інформаційної системи віддаленого діагностування стану пацієнтів.

Ключові слова: інформаційна система, централізована система, додаток для роботи з пацієнтами, діагностування, лікар, пацієнт, діагноз, захворювання.

Постановка проблеми. Сфера охорони здоров'я в нашому житті відіграє не останню роль. Хочемо ми цього чи ні, але нам доводиться відвідувати медзаклад, спілкуватися з медпрацівниками. На це бувають різні причини: захворювання, профілактичні обстеження, проходження планового медогляду, хронічні хвороби. Візити до медзакладу можуть бути одноразовими, але здебільшого є регулярними консультаціями. Кожен візит потребує якогось часу і досить часто виявляється не таким швидким, як хотілося б. Особливо гостро ця задача постала за умов світової пандемії, спричиненої коронавірусною хворобою (COVID-19). Тому питання мінімізації часу візиту до лікаря та можливості відділеного діагностування стану пацієнтів є доволі актуальною.

Згідно з наказами Міністерства охорони здоров'я України «Про державні фінансові гарантії медичного обслуговування населення» та «Про затвердження Порядку вибору лікаря, який надає первинну медичну допомогу, та форми декларації

про вибір лікаря, який надає первинну медичну допомогу» для отримання медичних послуг і лікарських засобів за програмою медичних гарантій кожна особа повинна мати закріпленого договором сімейного лікаря (лікаря, який надає первинну медичну допомогу) [1; 2]. Всі проблеми зі здоров'ям вирішуємо, звернувшись насамперед до сімейного лікаря, котрий має відповідну медичну документацію на кожного пацієнта – медичну картку. Досі ця документація ведеться в паперовому вигляді. Досить часто зустрічаються випадки втрати медичних карток (або з вини медзакладу, або з провини пацієнта), і важливі медичні записи за кілька, а то і десятки років зникають – відновити майже неможливо, а інколи такі записи могли врятувати життя людини.

Інколи виникає необхідність звернутися по допомогу до закладу охорони здоров'я в чужому місті, в якому ми не маємо закріпленого сімейного лікаря, і, відповідно, у медпрацівників відсутня інформація про історію наших захворювань (наша паперова

медкартка в іншому медзакладі). Відсутність інформації може вплинути на поставлені діагнози та прийняті рішення стосовно лікування, що може бути небезпечним для нашого здоров'я та життя.

Всі вищепераховані проблеми можна вирішити за допомогою електронної медицини. Медицини, в якій не буде «прив'язаний» один пацієнт виключно до одного медзакладу; медицини, в якій пацієнт не буде просиджувати в черзі до лікаря більше часу, ніж на прийомі; медицини, в якій медичні записи пацієнта будуть берегти й ефективно використовувати заради збереження і покращення здоров'я.

Проведені дослідження показали, що лікарі задають одні і ті самі питання кожному пацієнтові, і це забирає багато часу як лікаря, так і пацієнта, тому питання оптимізації цієї процедури шляхом мінімізації та автоматизації є актуальною.

Централізована інформаційна система віддаленого діагностування стану пацієнтів створюється з метою перенесення процесів роботи медичної сфери в онлайн-режим для оптимізації процесів і покращення сервісу надання медичних послуг. У нашій роботі проведемо дослідження процесу розробки й особливостей реалізації інформаційної системи віддаленого діагностування стану пацієнтів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні тенденції доводять, що розвиток електронних ресурсів, швидке надання послуг громадянам є пріоритетними завданнями держави, й електронна медицина не є винятком. Введення в експлуатацію системи eHealth та її постійна підтримка на державному рівні це підтверджують. Однак аналіз системи показав відсутність модулю віддаленого діагностування стану пацієнтів, а сама реалізація знаходиться на початковій стадії [3]. Відповідно до визначених векторів і стратегічного бачення Стратегії сталого розвитку України до 2030 р. один із фокусів направлений на забезпечення ефективної системи охорони громадського здоров'я, надання належних медичних послуг, що неможливе без використання сучасних інформаційних технологій [4].

В.І. Авраменко [5] зазначає, що широке впровадження інформаційних технологій у поєднанні з організаційними змінами в медичних закладах дозволить за порівняно короткий термін досягнути суттєвого підвищення ефективності роботи закладів охорони здоров'я, підвищити якість лікування та діагностики. Важливим напрямом розвитку системи охорони здоров'я є створення єдиного медичного інформаційного простору, який дозволить обмінюватися та спільно викорис-

товувати дані пацієнтів, котрі лікувалися у різних медичних закладах.

У статті [6] досліджуються алгоритми інтелектуального аналізу даних, які на основі правил і обчислень дозволяють створити модель, що аналізує дані, здійснюючи пошук певних закономірностей і тенденцій. Шляхом дослідження алгоритмів інтелектуального аналізу даних було розроблено моделі та методи для встановлення впливу одних хронічних захворювань на інші. Розроблені методи були реалізовані в системі інтелектуальної обробки даних. Проведені дослідження свідчать про перспективність використання методів інтелектуального аналізу даних для підвищення якості медичної допомоги пацієнтам.

У роботі О. Чабан та О. Бойко [7] розглянуто стан впровадження медичних інформаційних систем в Україні та за кордоном. Досліджено та проаналізовано проблеми створення єдиного медико-інформаційного простору. Автори зазначають, що інформатизація охорони здоров'я є лише питанням часу і, звичайно, потребує значних капіталовкладень. Загалом розвиток ІТ для охорони здоров'я може виступити одним із важливих факторів, які могли б пришвидшити в українській медицині реальні реформи й еволюцію в напрямку покращення охорони здоров'я та надання якісних медичних послуг населенню.

З огляду на ситуацію у країні та по всьому світу електронна медицина є як ніколи актуальною, і всі вищепераховані переваги таких систем не тільки можуть покращити послуги медичних закладів, а й допомогти зберегти людське життя.

Постановка завдання. Основна ціль розробки централізованої системи для роботи з пацієнтами – оптимізація процесу роботи лікарів із пацієнтами, можливість віддаленого діагностування стану пацієнтів і покращення якості медичних послуг. Оптимізація процесу дозволить зменшити час, який витрачають лікар і пацієнт на прийом; зменшити кількість лікарських помилок; дозволить краще контролювати здоров'я пацієнта та зменшить ризики інфекційного захворювання як для пацієнта, так і для лікаря. Система надаватиме швидкий доступ лікарю до даних пацієнта, а пацієнт зможе відстежувати записи лікаря та інші дані медичної картки в особистому кабінеті.

Із системою повинен мати змогу працювати не лише лікар, а й пацієнт. Система повинна бути централізована, додаток повинен бути реалізований так, щоб його могли використовувати різні медичні заклади.

Під час розробки онлайн-системи важливо розробити програмну платформу, яка буде максимально інтуїтивно зрозумілою і простою у використанні. Медичними послугами користуються різні вікові групи населення, і важливо це розуміти під час розробки додатку. Користувачі повинні використовувати програмний продукт без додаткового інструктажу, і на підсвідомому рівні всі процеси з реального життя вони повинні переносити на процеси додатку. Основні ролі в системі будуть подібними до ролей у житті: пацієнт, лікар, аптекар.

Виклад основного матеріалу дослідження. Основні функції системи реалізовано модульним підходом, оскільки під час розробки було використано Node.js та Express.js. Модульний підхід був обраний через те, що він дозволить надалі систему простіше підтримувати, система не містить додаткового абстрактного навантаження, і це покращує швидкодію та робить її більш гнучкою і здатною до швидких змін. Кожен модуль – відповідає за певний маршрут системи, або описує задані функціональні вимоги.

На рис. 1 представлена загальна схема модулів із вказаними маршрутами. Розглянемо ці модулі детальніше:

– ControlAccess – модуль, що відповідає за перевірку користувачів під час входу. Він застосовується у більшості модулів інших ролей системи та перевіряє користувача і його роль. Якщо корис-

тувач не має доступу, то модуль не дозволить виконати функціонал. За допомогою нього контролюються права ролей у системі. Для контролю прав доступу в системі використовуються куки. Дані для входу кешуються та існують обмежений термін для покращення безпеки системи.

– Connection – модуль для роботи з підключенням до бази даних. Цей модуль контролює підключення. У разі втрати підключення до бази даних модуль відновлює підключення і контролює постійно стан підключення. Для одного процесу система створює одне підключення. У разі подальшого масштабування системи та запуску декількох одночасно node.js процесів модуль дозволить організувати підключення на кожному із процесів. Отримане підключення до бази даних передається до інших модулів системи і не перетворюється на нові, що позитивно впливає на оптимізацію системи.

– User – модуль відповідає за основний функціонал і маршрутизацію по веб-додатку користувача з роллю – пацієнт. У цьому модулі реалізовано основні функції ролі – пацієнт із відповідним контролем доступу до даних і відповідним функціоналом.

– Doctor – модуль відповідає за основний функціонал і маршрутизацію по веб-додатку користувача з роллю – лікар. Цей модуль описує основний функціонал і контроль доступу до даних функціоналу лікаря.

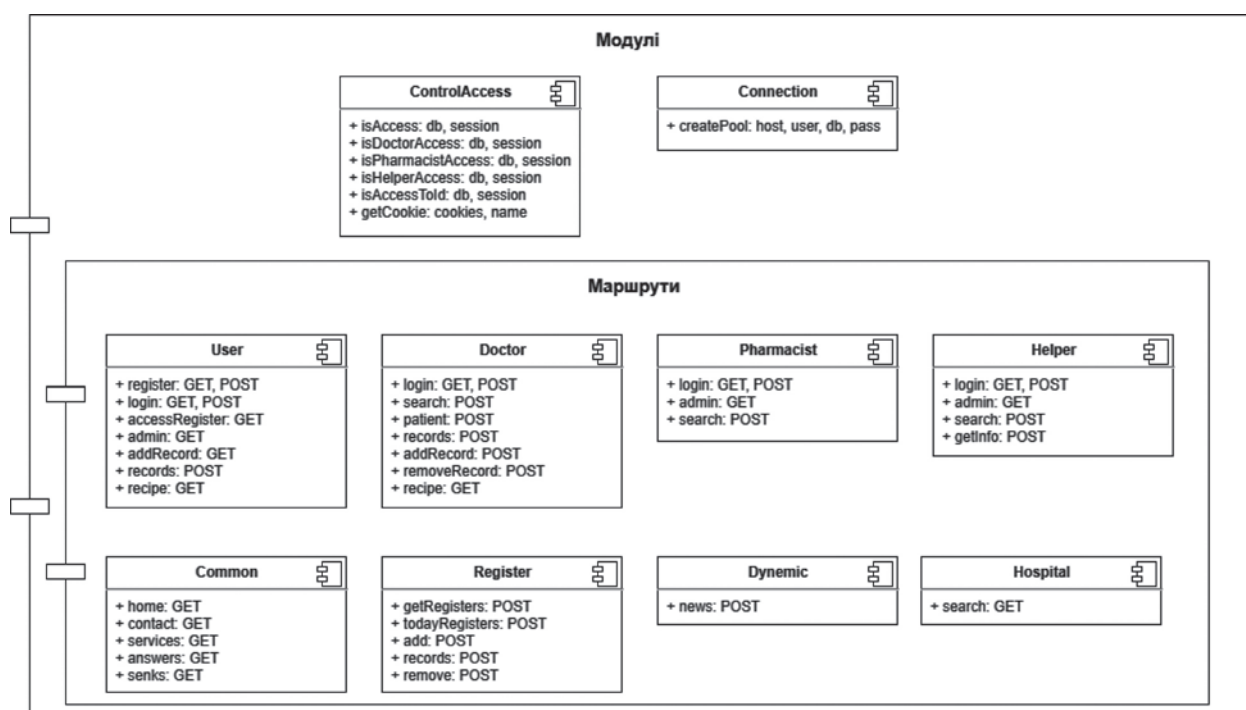


Рис. 1. Основні модулі системи

даних не залежатиме від навантаження на сервера, на якому розмішуватимуться процеси додатку. Це дозволить масштабувати базу даних надалі.

На рис. 3 наведено основні таблиці бази даних інформаційної системи. Розглянемо детальніше основні:

- таблиця `User` міститиме основні дані про людину, що буде зареєстрована в системі. Незалежно від ролі користувача запис буде внесено в цю таблицю. Для запису паролю використовується до 256 символів, така довжина реалізована через те, що всі паролі будуть хешуватися для безпеки користувачів. Під час реєстрації в ролі пацієнта в системі користувачу необхідно буде пройти додаткову авторизацію акаунта. Для цього створено додаткове поле – `status`, яке дозволить контролювати процес завершення реєстрації в системі. Поля `passportId` та `identityCode` використовуються для збереження коду паспорта та ідентифікаційного номера. Ця інформація необхідна для ідентифікації користувача в реальному житті. Це як для лікаря, котрий перевіряє, чи той пацієнт на прийомі у нього, так і для кожної ролі. За необхідності можна буде ідентифікувати персон у системі. Поле `email` використовується для збереження електронної адреси користувача. Це поле виступає в ролі логіна під час авторизації, також надалі зможе використовуватися для розсилки повідомлень користувачам;

- таблиця `Doctor` – додаткова таблиця для лікарів, що буде доповнювати інформацію про лікаря та таблицю `User`. Ця таблиця має зв'язки з таблицями `User`, `Hospital`, `Specialization`, `Registration`. Кожен лікар матиме спеціалізацію та прив'язку до певного медзакладу. Під час реєстрації на прийом відбувається прив'язка до лікаря за допомогою зв'язку між таблицями `Doctor` і `Registration`;

- таблиця `CardRecord` відповідатиме за записи в медичній картці пацієнтів. Кожен запис у медичній картці матиме свою дату й опис. Залежно від виду запису в медичну карту буде задаватися тип запису (поле `type` у таблиці). У цій таблиці також будуть зберігатися рецепти. Для них буде використовувався тип запису – `recipe`. За допомогою використання поля `type` надалі створено можливість фільтрації записів для кращої роботи в електронній медичній картці;

- таблиця `Hospital` зберігатиме коротку інформацію про лікарню. Ця інформація використовуватиметься під час реєстрації пацієнта на прийом. Кожен лікар буде пов'язаний із цією таблицею. Відповідно, у системі лікар повинен буде належати до однієї з лікарень;

- таблиця `Registration` зберігатиме всі реєстрації на прийом до лікаря і зв'язуватиме пацієнта з лікарем. Під час реєстрації на прийом записи будуть додаватися в таблицю. Якщо ж пацієнт скасує прийом, записи видаляться. На основі цієї таблиці буде будуватися робочий графік лікаря.

- таблиця `Specialization` міститиме спеціалізацію лікарів. Ця таблиця використовується для нормалізації бази даних і її оптимізації. Якщо не використовували цю таблицю, то тоді спеціальність лікаря необхідно було б записувати в таблицю `Doctor`. Це призвело б до дублювання і збільшення розмірів бази;

- таблиця `Sales` міститиме записи від аптекарів під час видачі лікарських препаратів за рецептом. Це необхідно, щоб контролювати видачу препаратів за рецептом і не допускати повторної видачі в інших закладах продажу. У цю таблицю також введено спеціальне поле `description`, яке буде використовуватися для того, щоб аптекарі лишали помітки щодо статусу продажу ліків пацієнтові. Для прикладу, може статися ситуація, коли пацієнт не зможе все купити в одній аптеці за рецептом. Тоді аптекар може продати частину препаратів і додати опис, що саме було продано. Під час наступної покупки за рецептом інший аптекар бачитиме цей опис і повторно вже не продасть препарати, що вже були видані пацієнту. Такий підхід забезпечить безпечно і правомірне використання рецептів, що дійсно важливо, якщо рецепт містить сильнодіючі препарати;

- таблиця `Sessions` міститиме куки, за її допомогою буде відбуватися контроль за доступом до відповідних даних. Збереження куків у базі даних необхідне для покращення безпеки системи. Потрібно чітко контролювати дату куків і зменшити можливість фальсифікації даних зі сторони клієнта.

Розробка системи розпочиналася з побудови маршрутизації по сайту. Для цього використали фреймворк `Express.js` та патерн `Middleware`. На рис. 4 показано один із вузлів системи, реалізованої за допомогою цього патерну.

Цей вузол відповідає за авторизацію в системі. Як можемо бачити, на першому проміжному обробнику відбувається підключення до бази даних, яке передається до наступного обробника, у якому проходить процес перевірки вхідних параметрів. Якщо дані достовірні, то користувачу надається доступ, і сервер передає куки до браузера користувача. Якщо ж дані не є валідними, то система відправляє помилку з кодом 303, який оброблюється клієнтською частиною додатку, і користувачу виводиться повідомлення про цей стан.

Було вирішено основні завдання та реалізовано базовий функціонал для інформаційної системи оптимізації віддаленого діагностування стану пацієнтів. Головна сторінка системи наведена на рис. 5. Після входу на сайт користувач може ознайомитися з основною інформацією про систему та перейти до сторінки авторизації, обравши відповідну роль у системі.

На рис. 6 показано, як виглядає електронна картка пацієнта. Інформація в медичній картці розділена на типи: записи пацієнта, записи лікаря, діагнози, обстеження, рецепти, особливості пацієнта. Медична картка має зручний і простий фільтр, що дозволяє користувачу фільтрувати записи за типами. Кожен тип інформації в картці має свій колір для швидкої орієнтації. Кожен запис містить тип, дату створення й опис. Подібна медична картка доступна лікарю під час прийому пацієнта.

Висновки. У статті наведено основні цілі та завдання для реалізації системи віддаленого діагностування стану пацієнтів, проаналізовано етапи та методи розробки поставленої задачі, визначено вибір інструментів для ефективного вирішення поставленого завдання.

Було вирішено основні завдання, такі як:

- оптимізація процесу роботи лікарів із пацієнтами;
- можливість віддаленого діагностування стану пацієнтів;
- оптимізація часу, який витрачають лікар і пацієнт на прийом.

У роботі використано практики сучасної розробки, проектування архітектури програмного забезпечення, тестування та розгортання систем. Система може бути використана в медичних закладах незалежно від їхнього статусу: державні

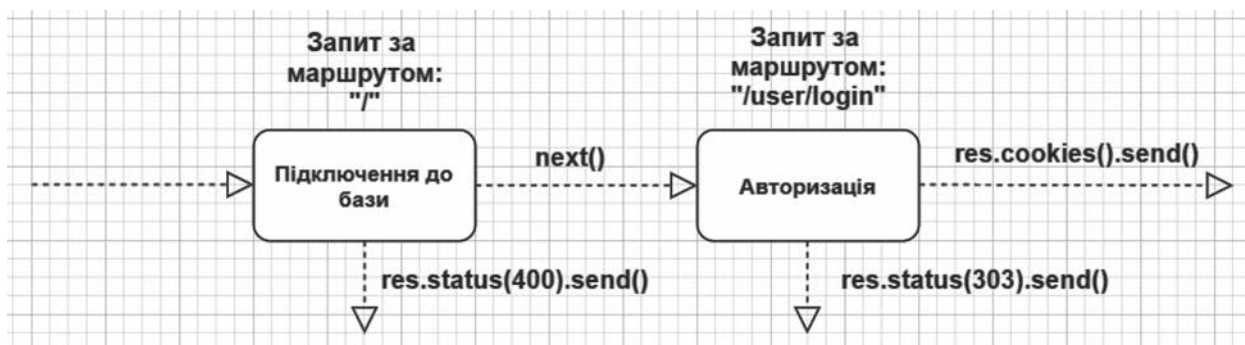


Рис. 4. Реалізація проміжних обробників

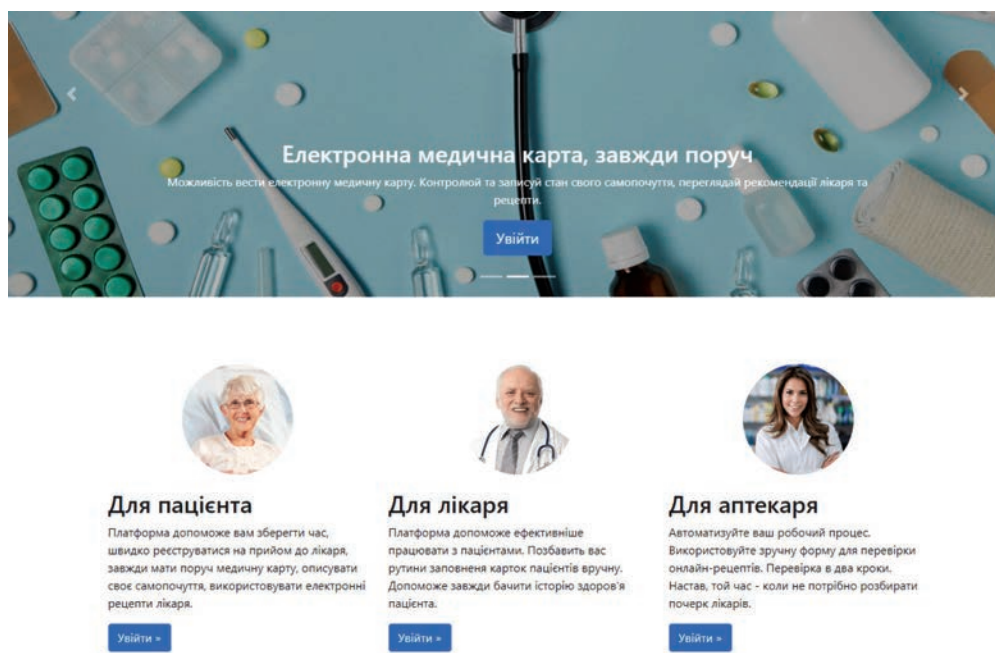


Рис. 5. Головна сторінка системи

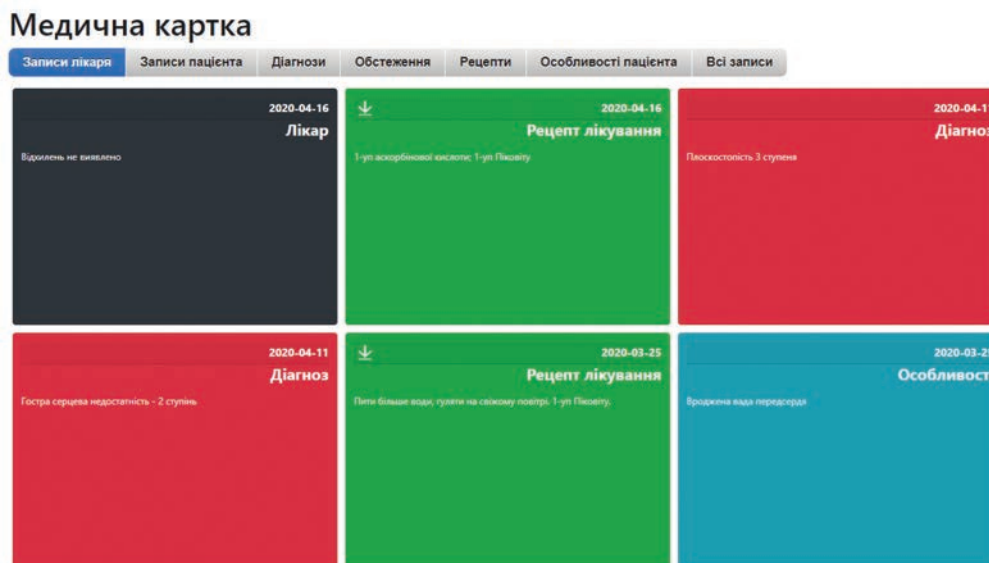


Рис. 6. Електронна медична карта пацієнта

чи приватні заклади. Незалежно від статусу, розмірів медичного закладу функціонал додатку можна буде використовувати в повному обсязі. Система має потенціал до покращення і розроблена таким

чином, щоб можна було підтримувати і розширювати функціональність. Завдяки обраній архітектурі масштабування системи відбуватиметься значно простіше.

Список літератури:

1. Наказ Міністерства охорони здоров'я України «Про державні фінансові гарантії медичного обслуговування населення». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2168-19#n114>.
2. Наказ Міністерства охорони здоров'я України «Про затвердження Порядку вибору лікаря, який надає первинну медичну допомогу, та форми декларації про вибір лікаря, який надає первинну медичну допомогу». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0347-18#Text>.
3. Як розвивається mHealth в Україні? URL: <https://ehealth.gov.ua/2020/11/06/yak-rozvyvayetsya-mhealth-v-ukrayini/>.
4. Стратегія сталого розвитку України до 2030 р. 2017. URL: https://www.undp.org/content/dam/ukraine/docs/SDGreports/UNDP_Strategy_v06-optimized.pdf.
5. Авраменко В.І., Качмар В.О. Формування основних напрямків розвитку інформаційних технологій в охороні здоров'я України на основі світових тенденцій. *Український журнал телемедицини та медичної телематики*. 2011. Т. 9. № 2. С. 5–15.
6. Levkivskiy, V., Lobanchykova, N., Marchuk, D. Research of algorithms of Data Mining. *E3S Web of Conferences*. Vol. 166. 05007. 2020. *The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020)*. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016605007>.
7. Чабан О., Бойко О. Огляд світової практики щодо впровадження медичних інформаційних систем та проблеми створення єдиного медико-інформаційного простору. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформаційні технології*. 2013. № 771. С. 365–370.

Levkivskiy V.L. CONCEPTUAL PRINCIPLES AND BUILDING TECHNOLOGIES OF THE INFORMATION SYSTEM FOR THE REMOTE DIAGNOSING OF PATIENTS' STATE

The development of the information system for the remote diagnosing of patients' state has been presented in a current article. Here were described conceptual principles and the features of basic functionality realization of the information system, presented main modules for a programming realization alongside with the structure of database system.

The done analysis of subject's state has helped to determine the main aspects of building the information system for the remote diagnosing of patients' state. E-medicine is actual more than ever when we take in account the last situation in our country and all over the world, therefore all advantages of those systems could even save a people life, but not only making the services of medicine institutions better. The analysis of existent analogues and the finding of contradictions between possible abilities and needs have shown that the

main functions of the future system should be the following list: the process optimization of doctors' work with patients; a time (spent by doctor and patient for a session) optimization.

The goal of the work is development of programming application, the specialized system for optimizing the work with patients from medicine institutions for the further improvement of giving the medicine services. We have the next tasks according to the goal: finding the main processes of the medicine institutions work and analysis of the ability for their moving to the electronic submission; the algorithms and architecture determining, which will help in the goal achieving; making of the app. with the ability of the further supporting and development; the system testing and the final summaries after doing analysis of testing results. The object of a research is the process of medical workers work with patients and additional processes. The subject of the research is optimization of medical institutes working processes with usage of modern information technologies.

As result, we have done the main tasks and finished the main functionality for the information system for the remote diagnosing of patients' state.

Key words: *information system, centralized system, application for the work with patients, diagnosing, doctor, patient, diagnosis, disease.*

УДК 681.54: 658.562.3
DOI

Маринич І.А.

Криворізький національний університет

Рубан С.А.

Криворізький національний університет

Сердюк О.Ю.

Криворізький національний університет

СИНТЕЗ СИСТЕМИ УЗГОДЖЕНОГО КЕРУВАННЯ ДОЗУВАННЯ ВСІХ КОМПОНЕНТІВ ШИХТИ З ПАРАЛЕЛЬНИМ З'ЄДНАННЯМ ДОЗАТОРІВ

У статті розглядається синтез системи автоматичного керування дозаторами компонентів шихти, що забезпечує мінімізацію відхилення співвідношення витрат компонентів від заданого значення. У роботі пропонується застосування як узгодженого керування окремими груповими дозаторами аглоруди, вапняку та коксу, так і системи керування груповим дозатором концентрату загалом на основі окремих моделей із контролем дозування відповідних компонентів шихти. Практична значимість полягає у застосуванні отриманих математичних розрахунків заданих значень витрат компонентів аглошихти й у можливості використання розробленої моделі у моделюванні технологічного процесу дозуванням компонентів шихти з заданими показниками якості роботи як окремого дозатору, так і роботи системи автоматичного дозування загалом.

На вітчизняних фабриках огрудкування найчастіше використовують системи автоматичного дозування компонентів шихти зі з'єднанням індивідуальних дозаторів. Для дозування вапняку, бентоніту і повернення використовуються стрічкові дозатори. Кожний стрічковий дозатор має власну систему управління продуктивністю, що складається з індивідуального вимірювача ваги, на основі якого в системі реалізовано зворотній зв'язок за продуктивністю дозатора. Дозування концентрату здійснюється груповим дозатором, що складається з дискових живильників, розміщених під бункерами концентрату, які вивантажують концентрат на збірний конвеєр. На основі математичних моделей елементів системи дозування розроблено структуру та визначено параметри налаштувань регуляторів для системи автоматичного дозування компонентів агломераційної шихти, що забезпечують високі якісні показники керування процесом. Синтезована система автоматичного дозування компонентів шихти за умов аглофабрики забезпечує мінімізацію середньоквадратичного відхилення співвідношення витрат компонентів. Тривалість перехідного процесу за співвідношеннями витрат компонентів і за загальною витратою становить близько 60 с. Система має невелике транспортне запізнення (близько 10 с), пов'язане з часом переміщення концентрату від конвеєрних вагів до кінця стрічки.

Ключові слова: автоматизація, груповий дозатор, дозування, моделювання, система автоматичного дозування, шихта.

Постановка проблеми. Дільниця дозування компонентів шихти фабрики огрудкування призначена для приготування суміші із концентрату, вапняку та бентоніту, її подальшого змішування та транспортування до дільниці огрудкування. Для забезпечення високих показників якості агломерату необхідно стабілізувати задане процентне співвідношення компонентів шихти. Оскільки в технологічному процесі дозування беруть участь 4–5 дискових дозаторів концентрату, 2 дискові дозатори аглоруди, по 2 стрічкові дозатори вапняку та коксу на одну лінію, з метою мінімізації відхилення співвідношення віддозованих матеріалів потрібно забезпечити ефективне керування всім

комплексом технологічного обладнання. Цього можна досягти шляхом узгодженого керування дозуванням усіх шихтових матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанню автоматизації процесів дозування, транспортування та змішування шихтових матеріалів на фабриках огрудкування присвячені роботи М.М. Бережного, Ю.Г. Гончарова, О.В. Дрімбо, А.Д. Іщенко, С.В. Мошенського, Е.А. Ісаєва та ін. Аналіз досліджень і публікацій показує, що сьогодні використовуються різні схеми реалізації систем дозування шихтових матеріалів. На вітчизняних фабриках огрудкування найчастіше використовують системи автоматичного дозування компонентів

шихти зі з'єднанням індивідуальних дозаторів. Для дозування вапняку, бентоніту і повернення використовуються стрічкові дозатори. Кожний стрічковий дозатор має власну систему управління продуктивністю, що складається з індивідуального вимірювача ваги, на основі якого в системі реалізовано зворотний зв'язок за продуктивністю дозатора. Дозування концентрату здійснюється груповим дозатором, що складається з дискових живильників, розміщених під бункерами концентрату, які вивантажують концентрат на збірний конвеєр. Реалізація зворотного зв'язку за продуктивністю концентрату забезпечується за рахунок контролю загальної продуктивності конвеєрними вагами, розташованими за останнім дисковим дозатором.

Проаналізовані у роботах структури систем автоматичного дозування дозволяють зробити висновок про доцільність використання системи автоматичного дозування компонентів шихти з паралельним з'єднанням дозаторів. Завданнями системи є забезпечення заданої продуктивності відділення дозування; стабілізація вмісту заліза в шихті шляхом керування витратою аглоруди залежно від витрати концентрату; стабілізація основності шихти шляхом керування витратою вапняку та коксу залежно від витрати рудної частини шихти. Для дозування концентрату доцільно використовувати груповий дозатор на основі дискових живильників [4]. Для дозування аглоруди, вапняку та коксу доцільно використовувати системи на основі індивідуальних дозаторів зі зворотним зв'язком за продуктивністю [2].

Виконане у роботах дослідження математичних моделей окремих елементів систем дозу-

вання та критеріїв роботи систем автоматичного дозування показало, що для оцінки якості роботи окремого дозатору доцільно використати значення середньоквадратичного відхилення продуктивності. Як критерій оцінки якості роботи системи автоматичного дозування загалом найдоцільніше використати значення середньоквадратичного відхилення коефіцієнту співвідношення витрат компонентів [1; 3].

Постановка завдання. У роботі необхідно виконати синтез системи автоматичного керування окремими дозаторами аглоруди, вапняку та коксу, системи керування груповим дозатором концентрату, і на основі окремих моделей розробити та промодельовати систему узгодженого керування дозуванням всіх компонентів шихти. Визначити критерії для оцінки якості керування як окремим дозатором, так і системи загалом.

Виклад основного матеріалу досліджень. Аналіз технологічного процесу дозування компонентів шихти на прикладі агломераційної фабрики ГЗК показує, що найдоцільнішим є використання системи автоматичного дозування компонентів шихти з паралельним з'єднанням дозаторів (рис. 1) [5].

Завдання загальної продуктивності за шихтою надходить із системи узгодження продуктивності спікального відділення та відділення підготовки шихти. Далі на основі алгоритму розрахунку складу агломераційної шихти визначаються коефіцієнти вмісту компонентів ($K_{кв}$, $K_{ав}$, $K_{б}$, $K_{кокс}$) в агломераційній шихті та в елементах множення ($EM_{кв}$, $EM_{ав}$, $EM_{б}$, $EM_{кокс}$) формується завдання продуктивності для групових дозаторів концентрату, аглоруди, вапняку та коксу.

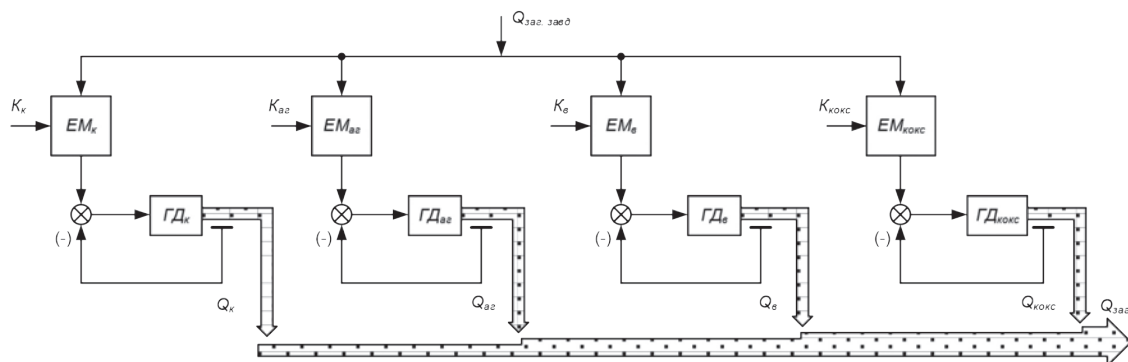


Рис. 1. Структурна схема паралельного з'єднання дозаторів:

$ГД_{кв}$, $ГД_{ав}$, $ГД_{б}$, $ГД_{кокс}$ – групові дозатори концентрату, аглоруди, бентоніту та коксу відповідно; $EM_{кв}$, $EM_{ав}$, $EM_{б}$, $EM_{кокс}$ – елементи множення для розрахунку заданої витрати концентрату, аглоруди, вапняку та коксу відповідно; $Q_{зав,завд}$ – задана загальна продуктивність системи дозування шихтових матеріалів; $K_{кв}$, $K_{ав}$, $K_{б}$, $K_{кокс}$ – розраховані коефіцієнти вмісту концентрату, аглоруди, вапняку та коксу в агломераційній шихті; $Q_{зав}$ – фактична продуктивність системи дозування; $Q_{к}$, $Q_{ав}$, $Q_{б}$, $Q_{кокс}$ – фактичні витрати концентрату, аглоруди, вапняку та коксу відповідно

Дозування концентрату доцільно здійснювати груповим дозатором, що складається з декількох дискових живильників, розміщених під відповідними бункерами концентрату, а для дозування вапняку – використовувати стрічкові дозатори, які розвантажують бункери вапняку. Кожний стрічковий дозатор має власну систему керування продуктивністю, що складається з регулятора на базі ПЛК та індивідуального вимірювача ваги, на основі якого в системі реалізовано зворотній зв'язок за продуктивністю дозатора. Регулювання витрати вапняку здійснюється шляхом змінення швидкості руху стрічкового конвеєра. Для дозування коксу доцільно використати груповий дозатор, що складається зі стрічкових дозаторів, які розвантажують бункери коксу. Регулювання витрати коксу здійснюється шляхом змінення частоти обертання двигуну віброприводу дозатора.

Якість роботи систем автоматичного дозування залежить, з одного боку, від точності дозаторів і структури систем, а з іншого – від характеру і величини збурюючих впливів. Збурюючі впливи в системах дозування викликані цілим рядом причин і мають різний характер. Поряд із різкими короточасними збуреннями (наприклад, внаслідок обрушення матеріалу в бункері), на системи діють і більш плавні впливи, які викликаються, наприклад, зміненням рівня матеріалу в бункері, зміненням насипної маси матеріалу і т. д. [6; 7].

Підвищення точності дозування забезпечується правильним вибором верхніх меж продуктивності живильників і вимірювачів ваги, а також вибором оптимальних налаштувань регулятора. Максимальні значення продуктивності елементів систем дозування повинні відрізнятися не більш ніж на 15–20% від фактичних максимальних значень витрат матеріалів. Налаштування регулятора доцільно приймати такими, щоб забезпечувався коливальний характер процесу дозування [7].

Критерієм якості роботи систем автоматичного дозування є стабільність коефіцієнтів співвідношення витрат матеріалів, що дозуються.

Для оцінки якості роботи систем автоматичного дозування використовуються такі основні критерії [4; 9]:

1. Відхилення коефіцієнта співвідношення віддозованих мас компонентів від заданого значення

$$\Delta K_c = K_{c.з} - \frac{\int_0^{t_k} Q_b \cdot dt}{\int_0^{t_k} Q_a \cdot dt} \leq \Delta K_{c.нпун},$$

де $K_{c.з}$ – задане значення коефіцієнта співвідношення мас компонентів; $\Delta K_{c.нпун}$ – припустиме значення відхилення коефіцієнта співвідношення віддозованих мас компонентів від заданого значення; Q_a, Q_b – витрати першого та другого компонентів відповідно.

2. Середньоквадратичне відхилення коефіцієнту співвідношення витрат компонентів

$$\sigma_{K_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_{ci} - K'_{c.сеп})^2}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n (K_c - K'_{c.сеп})^2}{n}},$$

де K_{ci} – поточне значення коефіцієнта співвідношення мас; K_c – середнє за час $t_k = n \cdot \Delta t$ значення коефіцієнта співвідношення мас; $K'_{c.сеп}$ – середнє за тривалий проміжок часу (декілька годин, діб) значення коефіцієнта співвідношення мас.

Отже, для системи автоматичного керування процесом дозування для оцінки якості роботи окремого дозатору доцільно використати значення середньоквадратичного відхилення продуктивності. Як критерій оцінки якості роботи системи автоматичного дозування загалом найдоцільніше використати значення середньоквадратичного

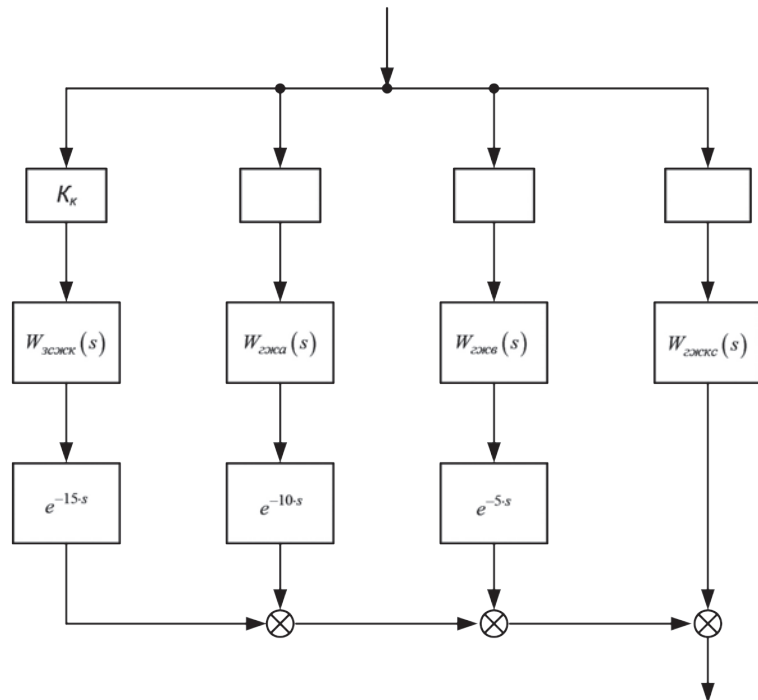


Рис. 2. Структурна схема системи автоматичного дозування компонентів шихти

відхилення коефіцієнту співвідношення витрат компонентів.

Структурну схему системи автоматичного керування дозуванням з урахуванням транспортних запізнень, пов'язаних із транспортуванням компонентів, можна зобразити у вигляді, наведеному на рис. 2 [8].

На структурній схемі позначені передаточні функції: $W_{зсжк}(s)$ – передаточна функція САК груповим дозатором концентрату, $W_{зжа}(s)$, $W_{зсжв}(s)$, $W_{зсжкс}(s)$ – передаточні функції групових дозаторів аглоруди, вапняку та коксу відповідно.

Після корекції системи керування продуктивністю окремого стрічкового дозатора й апроксимації передаточних функцій групових дозаторів вапняку, коксу й аглоруди можна синтезувати систему автоматичного керування дозуванням шихти з узгодженим керуванням окремими компонентами.

Модель синтезованої системи автоматичного дозування компонентів шихти, яка відповідає

структурі, наведеній на рис. 2, реалізована у середовищі MatLab/Simulinc, представлена на рис. 3.

У моделі блоку «Grup dozator koncentrata» відповідає модель групового дозатору концентрату, блоку «Grup dozator aglorudy» – модель групового дозатору аглоруди, блоку «Grup dozator vapnyaka» – модель групового дозатору вапняку та блоку «Grup dozator koksu» – модель групового дозатору коксу. Блоки «Transport Delay», «Transport Delay 1» і «Transport Delay 2» моделюють час переміщення матеріалу від місць розвантаження відповідних матеріалів (концентрату, аглоруди, вапняку) на збірний конвеєр до конвеєрних вагів.

Для оцінки якості системи автоматичного дозування компонентів шихти доцільно проаналізувати графіки перехідних процесів коефіцієнтів співвідношення між матеріалами, що дозуються [12]. Так, на рис. 4 наведено графік перехідного процесу співвідношення між витратою концентрату й аглоруди:

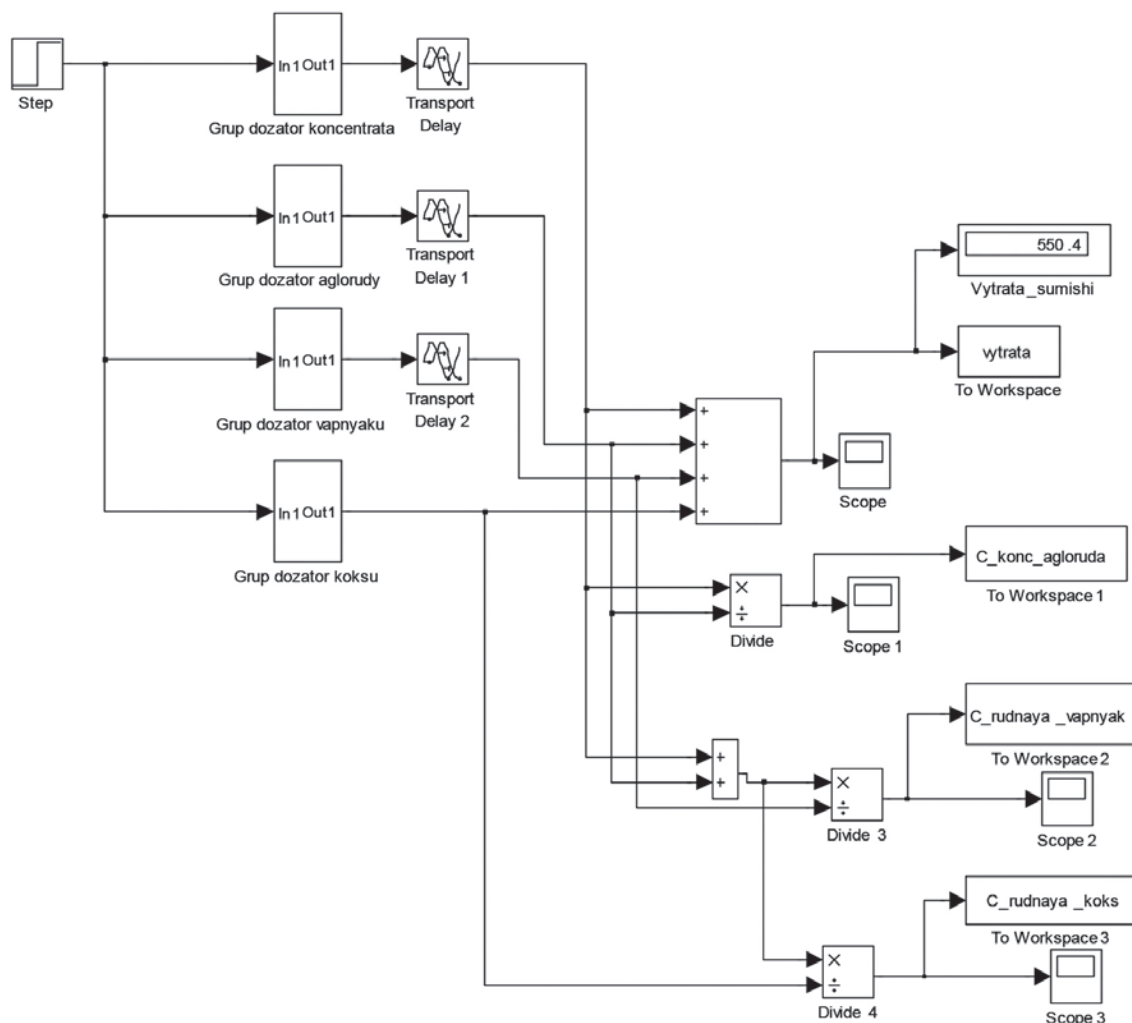


Рис. 3. Модель системи автоматичного дозування компонентів шихти

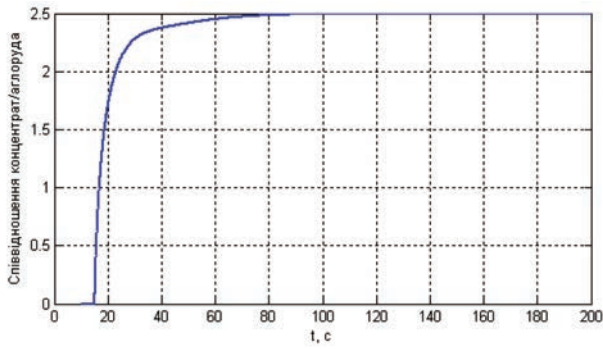


Рис. 4. Графік перехідного процесу співвідношення між витратою концентрату й аглоруди

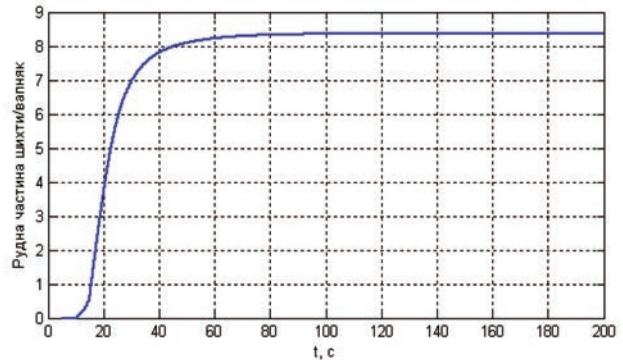


Рис. 5. Графік перехідного процесу співвідношення між витратою рудної частини шихти та вапняком

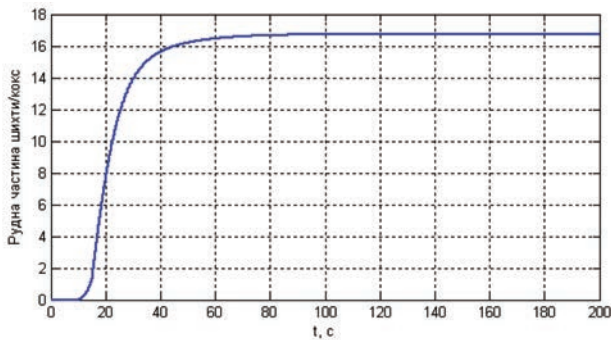


Рис. 6. Графік перехідного процесу співвідношення між витратою рудної частини шихти та коксом

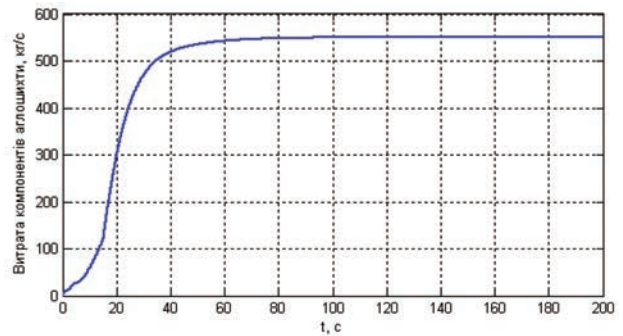


Рис. 7. Графік перехідного процесу за витратою компонентів агломераційної шихти

на рис. 5 – між витратою рудної частини шихти (концентрат + аглоруда) та вапняку, на рис. 6 – між витратою рудної частини шихти та коксом.

Графік перехідного процесу за витратою всіх компонентів суміші (концентрат, аглоруда, вапняк, кокс) у синтезованій системі автоматичного дозування компонентів шихти для умов аглофабрики наведено на рис. 7.

Висновки. Аналіз наведених на рис. 4–7 графіків свідчить, що синтезована система автоматичного дозування компонентів шихти за умов аглофабрики забезпечує мінімізацію середньоквадратичного відхилення співвідношення витрат компонентів. Система відпрацьовує задане співвідношення між витратою компонентів: концентрату й аглоруди

(2,5:1), рудної частини шихти та вапняку (8,4:1), рудної частини шихти та коксу (16,7:1).

Тривалість перехідного процесу за співвідношеннями витрат компонентів і за загальною витратою становить близько 60 с. Система має невелике транспортне запізнення (близько 10 с), пов'язане з часом переміщення концентрату від конвеєрних вагів до кінця стрічки. Отже, на основі виконаного комп'ютерного моделювання можна зробити висновок, що розроблена система відповідає всім вимогам і може використовуватися для моделювання технологічного процесу дозування компонентів шихти із заданими показниками якості роботи як окремого дозатору, так і роботи системи автоматичного дозування загалом.

Список літератури:

1. Ульшин В.А., Гавриш А.И., Кобец Д.В. Оптимальное управление производительностью автодозаторов на УОФ. *Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля.* 2007. № 12 (118). С. 232–236.
2. Спосіб дозування агломераційної шихти. Нечитайло В.М. та ін. Деклараційний патент України на корисну модель № 7785, 2005, Бюл. № 7.
3. Гудима В.И. Основы автоматизации обогатительных фабрик. Харків : Хорознь, 2001, 480 с.
4. Федоровский Н.В., Даньшин В.В., Губанов В.И., Сигуа Р.И. Автоматизация фабрик окускования железных руд и концентратов. Москва : Металлургия, 1986. 208 с.
5. Гончаров Ю.Г., Дримбо А.В., Ищенко А.Д. Автоматизация процессов окускования железных руд. Москва : Металлургия, 1983. 192 с.

Marynich I.A., Ruban S.A., Serdiuk O.Yu. SYNTHESIS OF COORDINATED CONTROL SYSTEM FOR DOSING OF ALL CHARGE COMPONENTS WITH PARALLEL CONNECTION OF DOSING DEVICES

Article discusses synthesis of system of charge components batchers automatic control, which ensures minimization of deviation of component cost ratio from specified value. Work proposes use of coordinated control of both individual group dosers of aglore, limestone and coke, and control system of group doser of concentrate as whole based on separate models with control of dosing of corresponding components of charge. Practical significance lies in application of obtained mathematical calculations of given cost values of agglomeration components and in possibility of using developed model when modeling technological process by dosing charge components with given performance indicators, both separate dispenser and operation of automatic dosing system as whole.

In domestic shrouding factories, most often systems for automatic dosing of charge components with connection of individual dispensers are used. Tape dispensers are used to dispense and return limestone, bentonite. Each belt dispenser has its own performance control system, consisting of individual weight meter, on basis of which system provides feedback on dispenser performance. Concentrate is dosed by group dispenser consisting of disk feeders located under the concentrate hoppers, which discharge concentrate to assembly conveyor. On basis of mathematical models of dosing system elements, structure was developed and settings of regulators for system of automatic dosing of agglomeration charge components were determined, providing high qualitative process control indicators. Synthesized system of automatic dosing of charge components under conditions of agglomeration ensures minimization of standard deviation of components consumption ratio. Duration of transition process according to component flow ratios and the total flow is about 60 s. System has small transport lag (about 10 seconds) associated with travel time of concentrate from weighing conveyor to end of belt.

Key words: automation, group dosing unit, dosing, modeling, automatic dosing system, charge.

УДК 621.396.946: 629.783
DOI

Медведєв М.Г.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Юсупів Т.В.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

ВИКОРИСТАННЯ ФУНКЦІЇ ЛОГНОРМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ СМЕРТНОСТІ ВІД COVID-19

У статті запропоновано підхід до апроксимації статистичних даних щодо загальної кількості померлих від COVID-19 для таких країн, як Австралія та Італія. Ці країни вибрані для моделювання, оскільки мають суттєво різні дані щодо померлих, а це дає змогу перевірити модель у різних ситуаціях.

Основним критерієм вибору моделі було найкраще наближення статистичних даних, а саме:

- характер зміни значень загальної кількості померлих від COVID-19 (швидке зростання та повільне падіння, висота точки перегину);
- максимальне значення.

Обрана функція отримала назву «логнормальна модель», оскільки за її основу було взяти функцію логнормального розподілу. Вона показала гарне наближення реальної статистики за певних значень своїх параметрів. Вдалося вказати вузькі межі для двох величин: σ^2 – параметр моделі та y_0 – ордината точки перегину графіка моделі.

Похибка оцінювання максимального значення померлих не перевищувала 0,76%, при тому, що порядок параметра, який відповідає цій кількості, був зоразу різний (102, 905 та 35 473).

Застосування моделі чітко показало вплив на поведінку графіка параметрів, які можуть бути інтерпретовані в таких термінах: A – граничне значення графіка, t_0 – абсциса точки перегину, σ^2 – величина, що впливає на висоту точки перегину графіка, тобто характеризує якість і швидкість медичних заходів країни щодо виявлення та лікування від конкретного штаму вірусу.

Також цікавим моментом у процесі моделювання виявилася необхідність введення додаткового параметра d для часового лагу між тими даними, які вважаються першим летальним випадком від COVID-19, і стартовим моментом моделі. Для Австралії цей параметр двічі виявився додатним, тоді як для Італії він дорівнював нулю. Однією з можливих інтерпретацій тут може бути те, що не завжди вдається вчасно виявити першу жертву вірусу.

Ця модель має перспективи бути використаною для подальшого моделювання та, на його основі, прогнозування смертності від COVID-19 і для інших країн світу (хвиль), де наявна досить структурована статистика смертності.

Ключові слова: модель, COVID-19, соціальна статистика, наближення, логнормальний розподіл.

Постановка проблеми. Весь 2020 рік пройшов під гаслом світової боротьби з COVID-19. 11 березня 2020 р. ВООЗ характеризувала ситуацію з вірусом як пандемію. Станом на кінець листопада 2020 р. у світі налічується понад 58 млн зафіксованих випадків зараження, з яких більше 1,3 млн виявилися летальними.

Багато вчених по всьому світу намагаються дослідити статистику, яка стосується COVID-19, і використати її для моделювання, зокрема смертності. Такі дослідження можуть допомогти у процесі подальшого прогнозування або вказати на певні загальні закономірності.

Постановка завдання. Метою статті є опис, обґрунтування вибору та наближення до реальних даних моделі, що відображає тенденції зміни

загальної кількості померлих від COVID-19 у різних країнах. Для цього були використані дані смертності по Австралії (дві хвилі) та Італії (перша хвиля), які були в числі перших у боротьбі із захворюваністю та веденні статистики, що, на нашу думку, є достовірною.

Виклад основного матеріалу дослідження. Серед багатьох функцій для моделювання була обрана така:

$$y(t) = \frac{A}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sqrt{2\sigma^2}} \right) \right), \mu \in \mathbb{R}, t, \sigma^2 > 0,$$

де $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$ – функція помилок.

Це функція розподілу ймовірностей для логнормального розподілу, помножена на число A .

Сам логнормальний розподіл широко застосовується у статистиці для ймовірнісної оцінки вартості активу в майбутньому, а для опису загальної кількості померлих від COVID-19 цікавими є дві його характеристики:

– графік цього розподілу має правобічну скошеність (асиметричність), притаманну графіку реальної статистики померлих;

– за необмеженого зростання параметру часу t цей графік асимптотично наближається до деякого числа (в моделі – числа A), що характеризує загальну кількість померлих.

Друга похідна вибраної функції $y(t)$ має такий вигляд:

$$y''(t) = -\frac{Ae^{-\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sqrt{2\sigma^2}}\right)^2} (\ln(t) - (\mu - \sigma^2))}{\sqrt{2\pi\sigma^2} \sigma^2 t^2}, \mu \in \mathbb{R}, t, \sigma^2 > 0.$$

Прирівнюючи її до нуля, отримуємо абсцису точки перегину t_0 (до точки перегину кількість померлих за добу збільшується, після – зменшується):

$$\ln(t_0) - (\mu - \sigma^2) = 0, \text{ тобто } t_0 = e^{\mu - \sigma^2}.$$

Ордината цієї точки:

$$\begin{aligned} y_0 = y(t_0) &= \frac{A}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\mu - \sigma^2 - \mu}{\sqrt{2\sigma^2}} \right) \right) = \\ &= \frac{A}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{-\sigma^2}{\sqrt{2\sigma^2}} \right) \right) = \frac{A}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(-\sqrt{\frac{\sigma^2}{2}} \right) \right) \end{aligned}$$

Таким чином, точка перегину розташована нижче прямої $y = 0,5A$ (оскільки функція помилок від від'ємного аргументу є від'ємною) та цілком визначається параметром σ^2 . На практиці перший факт добре узгоджується зі статистикою.

Для потреб моделі найкраще оперувати такими трьома параметрами: A , t_0 та σ^2 . Зауваживши, що $\mu - \sigma^2 = \ln(t_0)$ (а отже, $\mu = \ln(t_0) + \sigma^2$), отримуємо:

$$\begin{aligned} y(t) &= \frac{A}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln t - \ln t_0 - \sigma^2}{\sqrt{2\sigma^2}} \right) \right) = \\ &= \frac{A}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln \left(\frac{t}{t_0} \right) - \sigma^2}{\sqrt{2\sigma^2}} \right) \right), t_0, t, \sigma^2 > 0 \end{aligned}$$

Проте графік обраної функції розпочинається з дуже малих значень, тому введення додаткової змінної – d (стартового часу) допомагає «змістити» вліво його початок і, як результат, збільшити його початкові значення. Пояснити це можна тим, що важко точно визначити час смерті першої людини від COVID-19, тоді як модель починає наближати значення з точки $t = 1$, де її значення ще дуже малі.

Отже, остаточно було використано таку модель:

$$y(t) = \frac{A}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln \left(\frac{t+d}{t_0+d} \right) - \sigma^2}{\sqrt{2\sigma^2}} \right) \right), d, t_0, t, \sigma^2 > 0.$$

Той факт, що точка перегину має абсцису t_0 , наочно підтверджується для тих наборів даних, де можна було явно виділити дні з піковою смертністю.

Надалі модель має робочу назву «логнормальна модель».

Австралія. В Австралії, починаючи з 3 листопада 2020 р., перестали фіксувати нові випадки

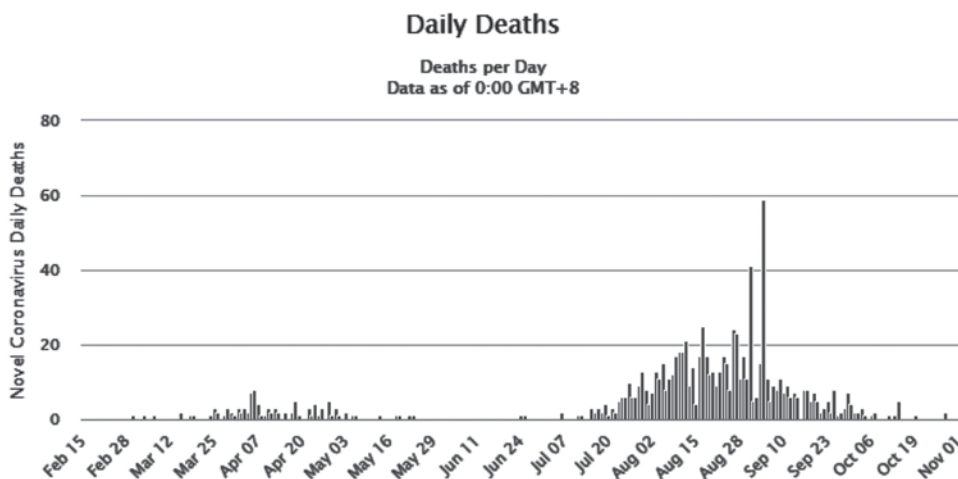


Рис. 1. Графік щоденної смертності за весь період, Австралія

зараження COVID-19. Країна пережила дві хвилі розповсюдження вірусу та, відповідно, дві хвилі смертності, відображені на графіку.

Загалом (із 15 лютого до 2 листопада 2020 р.) в Австралії зафіксовано 27 602 випадки захворювань, із яких 907 виявилися летальними. Між двома хвилями смертності був проміжок в один місяць (із 24 травня до 23 червня), коли жодна людина не померла, хоча випадки захворюваності фіксувалися.

Проаналізувавши статистику, виділяємо два періоди:

- перша хвиля смертності в Австралії – 84 дні (з 1.03 до 23.05);
- друга хвиля смертності в Австралії – 127 днів (з 24.06 до 28.10).

Перша хвиля забрала життя 102 людей, а друга – 805. Друга хвиля характеризувалася не тільки довшим у 1,5 раза періодом, але й більшою максимальною кількістю померлих за добу – 59 проти 8.

Водночас ці графіки можна добре наблизити обраною функцією.

Використовуючи «логнормальну модель», ми отримали такий результат для першої хвилі смертності.

Параметри моделі мають такі значення:

- $A = 103,22$;
- $\sigma^2 = 0,069$;
- $t_0 = 37,5$;
- $d = 17,8$.

Перегин відбувається в точці з ординатою $y_0 = 0,397A$. Максимальне значення відповідно до моделі становило 101,22, тоді як реальне значення (що відповідає 23.05.2020) становило 102 померлі (відносна похибка – 0,76%).

Параметри моделі для другої хвилі виявилися такими:

- $A = 809,81$;
- $\sigma^2 = 0,018$;
- $t_0 = 57,58$;
- $d = 81,14$.

Перегин відбувається в точці з ординатою $y_0 = 0,447A$. Максимальне значення відповідно до моделі становило 808,27, тоді як реальне значення кількості померлих дру-

гої хвилі (що відповідає 28.10) – 805 (відносна похибка – 0,41%).

Італія. Цікавим стало застосування «логнормальної моделі» для моделювання загальної кількості летальних випадків від COVID-19 в Італії. Тут перша хвиля смертності плавно перейшла у другу, досягнувши свого мінімуму 29.08.2020, коли померла одна людина. Таким чином, перша хвиля смертності для Італії тривала 191 день (із 21.02.2020 до 29.08.2020) і забрала життя 35 473 людей.

Як видно із графіка, модель дуже точно відображає реальний стан речей. Параметри моделі в цьому разі будуть такими:

- $A = 35402,81$;
- $\sigma^2 = 0,204$;
- $t_0 = 39,32$;
- $d = 0$.

Ордината точки перегину $y_0 = 0,326A$. Максимальне значення відповідно до моделі становило



Рис. 2. Моделювання першої хвилі смертності в Австралії

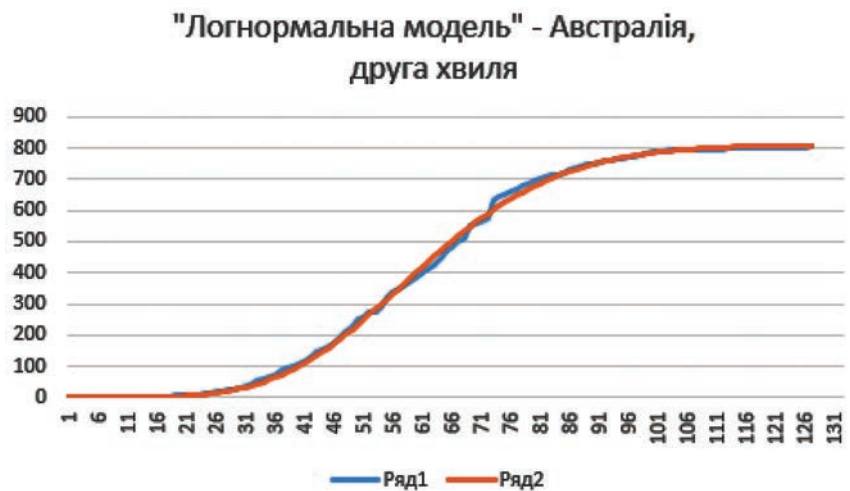


Рис. 3. Моделювання другої хвилі смертності в Австралії



Рис. 4. Моделювання першої хвилі смертності в Італії

35 361,73, тоді як реальне значення, що відповідає 29.08, – 35 473. Відносна похибка оцінки максимального значення в цьому разі становить 0,31%. $d = 0$, що свідчить про відсутність лагу між реальним початком смертності та модельним.

Висновки. Отже, «логнормальна модель» добре описує статистику летальних випадків

двох хвиль в Австралії та першої хвилі в Італії. Ця модель включає чотири параметри: A , σ^2 , t_0 та d . Функція, використана в моделі – це функція розподілу ймовірностей для логнормального розподілу, помножена на коефіцієнт A , який показує максимально можливу кількість померлих до закінчення поточної хвилі.

У процесі наближення було встановлено, що параметр $\sigma^2 \in [0,018; 0,204]$, ордината точки перегину $y_0 \in [0,326A; 0,447A]$. Відносно вузькі межі цих параметрів можуть свідчити про влучний вибір моделі, яка описує процеси смертності від COVID-19, для різних країн.

Порядок величини кількості померлих, що задається параметром A , може залежати від багатьох факторів, таких як мутація вірусу, недотримання правил санітарної безпеки, прориви у лікуванні чи настання холодного сезону.

Список літератури:

1. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. Москва : Мир, 1975. 536 с.
2. Хвищун І.О. Програмування і математичне моделювання : підручник / Львівський національний ун-т ім. Івана Франка. Київ : Ін Юре : Видавничий центр Львівського національного університету ім. Івана Франка, 2007. 544 с.
3. Статистика смертності від COVID-19 у світі. 20 листопада 2020 р. URL: <https://www.worldometers.info/coronavirus>.

Medvedev M.H., Yusyiv T.V. APPROXIMATION OF THE MORTALITY CURVE FROM COVID-19 USING THE “LOGNORMAL MODEL”

The article proposes an approach to approximate statistics on the total number of deaths from COVID-19 for countries such as Australia and Italy. These countries are chosen for modeling because they have significantly different data on deaths, which allows the model to be tested in different situations.

The main criterion for choosing the model was the best approximation of statistics, namely:

- the nature of changes in the values of the total number of deaths from COVID-19 (rapid growth and slow decline, the height of the inflection point);
- maximum value.

The chosen function was called the “lognormal model” because it was based on the lognormal distribution function. It showed a good approximation of real statistics at certain values of its parameters. It was possible to specify narrow limits for two quantities: σ^2 – model parameter and y_0 – ordinate of the inflection point of the model graph.

The error in estimating the maximum value of deaths did not exceed 0.76%, although the order of the parameter corresponding to this number was different each time (102, 905 and 35473).

The application of the model clearly showed the influence on the behavior of the graph of parameters that can be interpreted in the following terms: A – limit value of the graph, t_0 – abscissa of the inflection point, σ^2 – the value that affects the height of the inflection point of the graph, ie for the detection and treatment of a particular strain of the virus.

Another interesting point in the simulation process was the need to introduce an additional parameter d for the time lag between the data that are considered the first fatality from COVID-19, and the starting point of the model. For Australia, this parameter was twice positive, while for Italy it was zero. One possible interpretation here may be that it is not always possible to detect the first victim of the virus in time.

This model has the potential to be used for further modeling and, based on it, the prediction of mortality from COVID-19 and for other countries (waves), where there are fairly structured mortality statistics.

Key words: model, COVID-19, social statistics, approximation, lognormal distribution.

УДК 654:679.76(078)
DOI

Пількевич Ю.Г.

Київський національний університет будівництва і архітектури

Розорінов Г.М.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АВТОМАТИЗАЦІЯ МОНІТОРИНГУ ЕКОСИСТЕМИ ПРІСНОЇ ВОДОЙМИ

У статті досліджуються методи автоматизації екологічно безпечних технологічних процесів та устаткування, що забезпечують спрощення умов виробництва товарної риби, додержання нормативів шкідливих впливів на екосистему прісних водойм та їх охорону. Неприятливий екологічний стан багатьох прісноводних екосистем наносить суттєву шкоду рибним ресурсам водойм і ставить під загрозу можливість розвивати рибну галузь.

Контроль за середовищем існування – найважливіша умова успішного вирощування і утримання риб. Гідрохімічний і бактеріологічний аналізи повинні здійснюватися не рідше 1 разу на місяць, а в критичних ситуаціях – щодня. Водна маса у водоймі не однорідна по глибинах і по площах, застійні зони можуть дуже відрізнятися від областей з високою проточністю.

Класичні методи і засоби моніторингу параметрів біоти прісних водойм мають низку суттєвих недоліків. Показано, що недоліки відомих методів можуть бути усунені при автоматизованому способі отримання і обробці інформативних параметрів за рахунок використання сучасних інформаційних технологій. Запропонована структурна схема процесу отримання відібраних для аналізу параметрів біоти і переважний алгоритм їх обробки. У процесі вимірювань виділяють завдання обробки даних, власне завдання отримання інформації і завдання управління процесом вимірювання та видачі рекомендацій на управління екосистемою водойми.

Розроблена і виготовлена восьмиканальна підсистема вимірювання температури. У процесі експериментальних досліджень встановлена лінійна залежність температурних змін у водних шарах. Запропоновано вимірювати температуру у трьох місцях: верхньому, середньому і нижньому. Розроблений оригінальний датчик температури. Чутливим елементом датчика слугує індуктивна котушка із термозалежним осердям. Лінія зв'язку з вимірювальними пристроями, розташованими на понтонах, – кабельна, а від пристроїв, розташованих у водоймі, – безпроводна. Усього екосистема може містити до п'яти і більше водосховищ. Контролер аналізує інформацію, отриману від усіх модулів, і видає керуючі сигнали залежно від налаштувань. Паралельно з цим контролер формує інформаційний пакет, в якому зібрані дані моніторингу, і видає їх на комп'ютер.

Ключові слова: автоматизована система, датчик температури, екологічний моніторинг, контролер, кисневий режим, прісна водойма.

Постановка проблеми. Вода як найпоширеніший мінерал на планеті відіграє дуже важливу роль у забезпеченні життєдіяльності всього живого. Серед її складників особливий інтерес викликають прісні води внутрішніх водойм – річок, озер і водосховищ. Неприятливий екологічний стан багатьох прісноводних екосистем наносить суттєву шкоду рибним ресурсам водойм і ставить під загрозу можливість не тільки розвивати рибну галузь, розводивши рибу штучно, але і просто її виловлювати [1]. Незаперечний факт, що в багатьох рибних водоймах кількість водних гідробіонтів скоротилася, а деякі види взагалі зникли. Усе це змушує вживати заходи щодо поліпшення екологічного стану прісних водойм.

Нині глобальною проблемою є забруднення. Цей процес означає внесення у сферу нових чужорідних речовин або агентів або попадання вже відомих продуктів, але в надмірних кількостях, від яких вона не здатна позбавитися у процесі природних механізмів самоочищення. Крім природного забруднення, головний неспокій викликає антропогенне, викликане людською діяльністю [2].

Оцінка рівня забруднення вимагає складних лабораторних досліджень. Нині відомо понад 400 речовин і з'єднань, здатних викликати погіршення стану природних вод. Практично всі водойми України наближаються до 4-го та 5-го класів якості,

тобто характеризуються як забруднені й брудні. Завдяки такому забрудненню, яке постійно розвивається, агресивному і багатогранному, проблема якості водних ресурсів стала гострою, особливо в більш урбанізованих зонах країни.

Розрізняють три стадії забруднення природних вод [3]:

Початкова стадія. Концентрація поллютантів (забруднювачів) у воді вища за фонову, але менша за гранично допустимі концентрації (далі – ГДК). Властивості води в межах норми. Зміни, які спостерігаються, не є перепорою для використання води для господарсько-питних потреб, але вказують на наявність джерела забруднення.

Небезпечна стадія. Концентрація поллютантів досягає ГДК або трохи перевищує її. Площа забрудненої ділянки (для підземних вод) становить 0,02-0,5 км².

Дуже небезпечна стадія. Вміст поллютантів значно (на порядок) перевищує ГДК. Площа забрудненої ділянки (для підземних вод) становить 0,5-1,0 км² і більше.

Ступінь змін і масштаби наслідків залежать від інтенсивності й виду забруднення, а також від здатності екосистеми до самоочищення, від стійкості проти зовнішніх впливів.

Актуальність роботи зумовлена недоліками класичних лабораторних методів моніторингу, а також відсутністю автоматизованих екологічно безпечних технологічних процесів та устаткування, що забезпечують оптимізацію умов виробництва товарної риби, додержання нормативів шкідливих впливів на екосистему прісних водойм та їх охорону:

- несистематичністю і низькою точністю моніторингу інформаційно важливих параметрів екосистеми;
- великим обсягом ручних операцій;
- необхідністю знання математичних основ методів моніторингу;
- поганим інтерпретуванням результатів;
- необхідністю використання додаткового обслуговуючого персоналу.

Важливим питанням екологічного моніторингу стану біоти прісних водойм залишається аналіз захищеності водного дзеркала і недосконалість методів бездротової передачі та захисту даних моніторингу.

Постановка завдання. Метою статті є розробка автоматизованих екологічно безпечних технологічних процесів та устаткування, що забезпечують оптимізацію умов виробництва товарної риби, додержання нормативів шкідливих впливів на екосистему прісних водойм та їх охорону.

Виклад основного матеріалу дослідження. Можливості регулювання умов вирощування риби у ставках обмежені. На результати вирощування впливають погодні умови (перегрів або зниження температури), різкі коливання концентрації кисню, вітру та температури. Тепловодні і холодноводні ставкові господарства можуть бути як повносистемними, так і неповносистемними:

1. Повносистемні господарства вирощують рибу зі стадії ікринки до отримання товарної риби.

2. Неповносистемні господарства утримують виробників, інкубують отриману від них ікру, підрощують личинок до стадії цьоголітків і продають цьоголіток для подальшого вирощування.

Серед риб за місцем проживання і за ставленням до навколишніх умов виділяють такі екологічні групи: прісноводні прохідні, солонуватоводні та морські. Прісноводні риби (майже 8,3 тисяч видів) усе життя проводять у прісній воді. У внутрішніх водоймах України формування поголів'я вирощуваної риби здебільшого складається з білого і строкатого товстолобика, коропа, білого амура, судака, сома, карася (табл. 1, 2).

Кисень у водоймах утворюється за рахунок фотосинтезу мікроводоростей у денний час, а вночі всі живі організми його інтенсивно поглинають. У ставковому господарстві і в басейнах, де містяться риби, часто застосовують штучну аерацію води. Вміст розчиненого у воді кисню залежить від її температури. Так, за температури 1°C рівноважні концентрації кисню у воді складають 14,3 мг/л, при 5°C – 12,8; при 10°C – 11,3; при 15°C – 10,0; при 20°C – 9,0; при 25°C – 8,2, при 30°C – 7,4 мг/л. При температурі води, близькій до замерзання, рівень насиченості кисню удвічі вищий, ніж при 30°C [4]. В умовах дефіциту кисню знижується виживання і темпи зростання молоді риб.

Контроль за середовищем існування – найважливіша умова успішного вирощування і утримання риб. Гідрохімічний і бактеріологічний аналізи повинні здійснюватися не рідше 1 разу на місяць, а в критичних ситуаціях – щодня. Водна маса у водоймі не однорідна по глибинах і по площах, застійні зони можуть дуже відрізнятися від областей із високою проточністю.

Як показує статистика, близько 90% усіх випадків загибелі риби в рибгоспах викликано порушеннями кисневого режиму, 5% – є наслідком токсикозів, 5% – викликано захворюваннями. Концентрація кисню у природних водоймах здебільшого коливається протягом доби. Найнижчий вміст – рано вранці, коли рослини у водоймі ще не почали виробляти кисень, а запаси його за ніч скоротилися.

Найбільш чутливі до кисню холодноводні риби: лососеві, сигові, осетрові, а також окунь, судак та інші види хижих риб. Найменш вимогливі – карась, лин, короп. Зона фізіологічного комфорту для більшості видів риб – від 70% до 100% від рівня максимального насичення. Якщо вміст кисню нижче, риба гірше зростає, менш продуктивно використовує корми, знижується її фізіологічна активність.

Усі риби чутливі до змін температури. Температура води сприймається рибами за допомогою терморецепторів (вільних нервових закінчень), розташованих у поверхневих шарах шкіри. Невеликі відхилення у температурі води можуть змінити шляхи міграцій і терміни нересту риб. Кісткові риби здатні розрізняти перепади температур у 0,4°C. Риби є пойкилотермними тваринами, і температура їх тіла близька до температури навколишнього середовища. Здебільшого вона на 0,5-1°C перевищує температуру води. Кожному виду властиві граничні і оптимальні температури води. Наприклад, для карася нижня гранична темпера-

тура становить 0°C, верхня – 30°C, оптимальна – 25°C. Температура впливає на час і тривалість дозрівання статевих продуктів, терміни нересту, тривалість інкубаційного періоду ікри.






Риби сприймають у воді звуки в діапазоні від 5 Гц до 15 кГц, звуки більш високих частот (ультразвуки) риби не сприймають. Риби видають звуки різної тональності. Залежно від того, для чого звуки їм служать, характер звучання змінюється: одні звуки риби видають при харчуванні, інші – при русі, є звуки переляку.

Класичні методи і засоби моніторингу параметрів біоти прісних водойм (рис. 1) мають низку суттєвих недоліків і характеризуються:

- несистемністю і низькою точністю моніторингу інформаційно важливих параметрів екосистеми;
- великим обсягом ручних операцій;
- необхідністю знання математичних основ методів моніторингу;
- поганим інтерпретуванням результатів;





Таблиця 1

Характеристика видів риб

Види риб		Природна кормова база	Рибопродуктивність, кг/га
	Білий товстолобик	Фітопланктон (рослинний)	300
	Строкатий товстолобик	Зоопланктон (тваринний)	100
	Короп	Бентос (донні організми)	200
	Білий амур	Водна рослинність	100
	Судак	Дрібна риба	100

Таблиця 2

Характеристика коропів

Короп – основний об'єкт ставкового рибництва		
	Лускатий	Теплолюбна риба, добре росте за температури 22-29°C. Харчується донними організмами і штучними кормами. Розмножується за температури 16-20°C. Дозріває у віці 4-5 років. Плодючість 450-900 тисяч ікринок. Максимальна довжина тіла – 100 см, маса – 20 кг (до 45 кг). Короп мінливий за формою тіла, забарвленням, характером лускатого покриву. Порівняно зі звичайним типом (лускатий) коропи можуть бути розкиданими, лінійними і голими
	Розкиданий	
	Лінійний	
	Голий	

– необхідністю залучення додаткового обслуговуючого персоналу.

Недоліки відомих методів можуть бути усунені при автоматизованому способі отримання і обробки інформативних параметрів за рахунок використання сучасних інформаційних технологій [5; 6]. На рис. 2 показана запропонована структурна схема процесу отримання відібраних для аналізу параметрів біоти і переважний алгоритм їх обробки.

У процесі вимірювань виділяють завдання обробки даних, власне завдання отримання інформації і завдання управління процесом вимірювання та видачі рекомендацій на управління екосистемою водойми. Для дослідження характеру розподілу температури у водних шарах і встановлення мінімально необхідної кількості датчиків була розроблена і виготовлена восьмиканальна підсистема вимірювання

температури. Основними вузлами підсистеми є восьмирозрядні АЦП типу AD-7715-5 і мікроконтролер серії AVR.

Задача акустичного моніторингу стану екосистеми і охорони водойми виконана за схемою перетворення звукового сигналу за допомогою акустичного датчика і стандартної звукової карти. У процесі експериментальних досліджень була встановлена лінійна залежність температурних змін у водних шарах. Тому варто вимірювати температуру у трьох місцях: верхньому, середньому і нижньому. Верхнє і нижнє місця вибиралися на відстані 50 см від верхнього і нижнього рівнів води.

Була виявлена непридатність напівпровідникових датчиків температури в умовах прісних водойм внаслідок їх швидкого заростання. Крім того, в них з'являлася випадкова погрішність, яку не можливо ідентифікувати через інтегральне

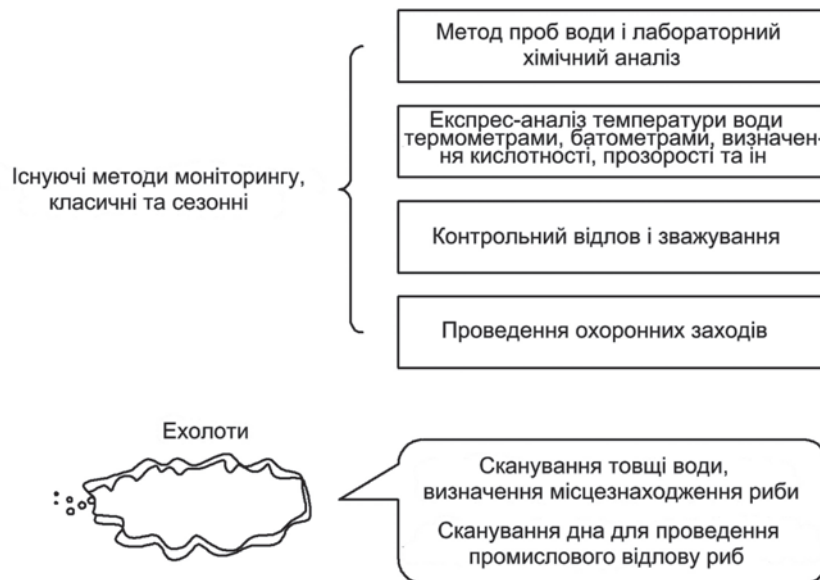


Рис. 1. Методи моніторингу параметрів біоти прісних водойм

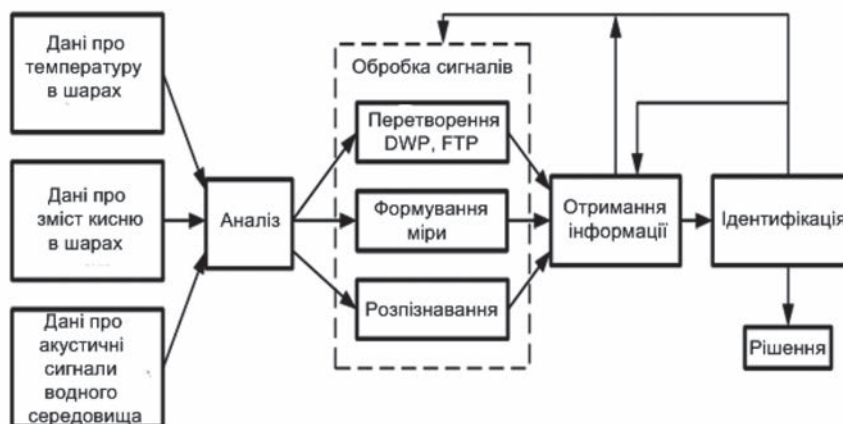


Рис. 2. Процес моніторингу стану біоти водойми

виконання датчиків. У зв'язку з цим у розробленій схемі використаний оригінальний датчик температури. Чутливим елементом датчика слугує термочутливе осердя індуктивної котушки. При зміні температури змінюється магнітна проникність осердя, а тому й індуктивність котушки.

Для побудови підсистеми оцінки кисневого режиму водойми досить контролювати кисень у трьох місцях. Індикатором розчиненого кисню вибраний датчик типу 3830 (рис. 3).



Рис. 3. Зовнішній вигляд датчика розчиненого кисню

Принцип дії датчика – оптичний. Він вимірює з високою точністю і має максимальну глибину занурення 6000 м. Він забезпечений стандартним цифровим інтерфейсом RS-232C. Переваги цього датчика перед електрохімічними:

- стійкість до зовнішнього забруднення і обростання;
- мінімальний вплив зовнішнього тиску;
- несприйнятність до каламутності (датчик не поглинає кисень).

На рис. 4 показано схему установки вимірювальних засобів і систему зв'язку з управляючим комплексом на водоймі.

Лінія зв'язку з вимірювальними пристроями, розташованими на понтонах, – кабельна, а від пристроїв, розташованих у водоймі, – безпроводна. Усього рибопитомник може містити до п'яти і більше водосховищ. Збір даних здійснюється у певній послідовності. Спочатку сигнал із датчика поступає на вхід модуля введення-виводу, який у певні моменти виконує первинну його обробку [5; 7]. Після цього модуль введення-виводу за запитом від провідного контроллера формує інформаційну послідовність про параметри сигналу. Контроллер аналізує інформацію, отриману від усіх модулів, і видає керуючі сигнали залежно від налаштувань. Паралельно з цим контроллер формує інформаційний пакет, у якому зібрані дані, що цікавлять рибовода, і видає їх на комп'ютер.

Висновки. Розроблена автоматизована екологічно безпечна система моніторингу стану біоти прісної водойми, яка забезпечує спрощення умов виробництва товарної риби та її охорону. Описано вибір датчиків температури, кисню, акустичних сигналів для прісних водойм, що забезпечують мінімізацію контролюючих параметрів при максимумі інформативності. Розроблено схеми установки вимірювальних засобів і приладів зв'язку з управляючим комплексом на водоймі.

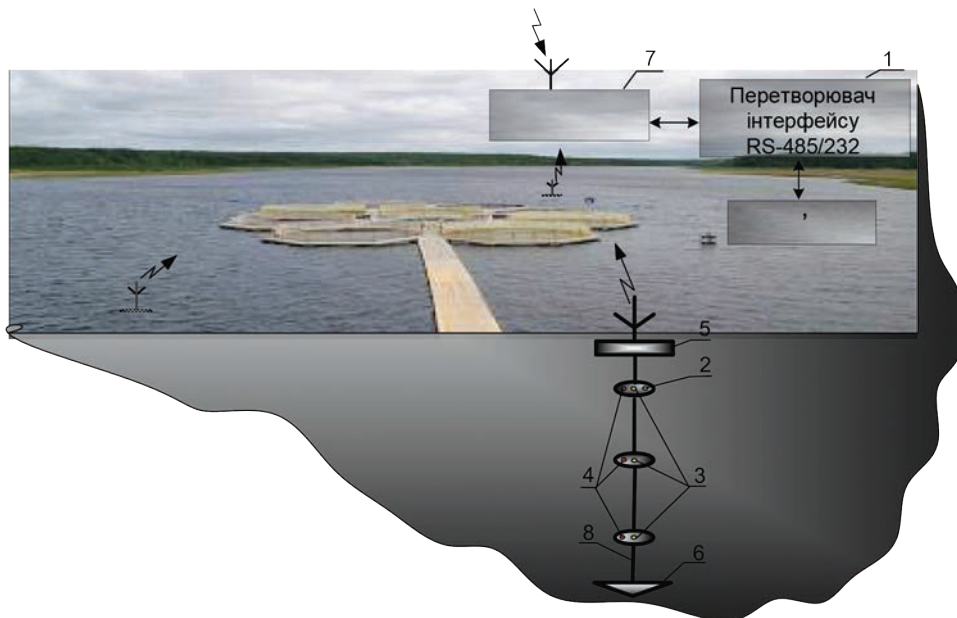


Рис. 4. Схема установки вимірювальних засобів і системи зв'язку

Умовні позначення: 1 – перетворювач інтерфейсу; 2 – акустичний датчик; 3 – датчики концентрації кисню; 4 – датчики температури (верхній, середній, нижній); 5 – радіобуй; 6 – якор, 7 – радіомодем; 8 – кабель передачі та кріпильний трос

Список літератури:

1. Воронцов А.И., Николаевская Н.Г. Вопросы экологии и охраны водной среды. М. : Инфра-М, 2011. 98 с.
2. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Экологический вызов и устойчивое развитие. М. : Прогресс-Традиция, 2010. 233 с.
3. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана гидросферы при химическом загрязнении : учеб. пособие. М. : Высшая школа, 2012. 167 с.
4. Хотунцев Ю.Л. Экология и экологическая безопасность : учеб. пособие. М. : АCADEMA, 2012. 233 с.
5. Ларин В.Ю., Ларина Е.Ю., Савицкая Я.А., Розоринов Г.Н., Федоров Е.Е., Чичикало Н.И. Концепции профессионального проектирования приборов и систем : учебник в 2-х книгах. К. : Кафедра, 2016. Кн. 1. 468 с.
6. Олексенко П.Ф. Цифрова обробка аудіо- та відеоінформації у мультимедійних системах / за ред. П.Ф. Олексенко. К. : Наукова Думка, 2014. 152 с.
7. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-е изд. СПб : Питер, 2007. 992 с.

Pilkevych Yu.H., Rozorinov H.M. AUTOMATION OF MONITORING OF FRESH RESERVOIR ECOSYSTEM

The methods of automation of safe ecologically technological processes and equipments, that provides simplification of production terms of commodity fish, inhibition of norms of harmful influences on the ecosystem of fresh reservoirs and their guard, are investigated in the article. The unfavorable ecological state of many freshwater ecosystems inflicts substantial harm to the fish resources of reservoirs and puts possibility to develop fish industry under a threat. Control after the environment of existence is a major condition of the successful growing and maintenance of fishes.

An aqueous and bacteriological analysis must come true not rarer 1 time on a month, but in critical situations – every day. Water mass in a reservoir is not homogeneous on depths and on areas, stagnant areas can strongly differ from areas with a high flowage. Classic methods and facilities of monitoring of biota parameters of fresh reservoirs have a row of substantial defects. It is shown that the lacks of well-known methods can be removed at the automated method of receipt and treatment of informing parameters due to the use of modern information technologies.

The flow diagram of receipt process of the biota parameters selected for an analysis and repressing algorithm of their treatment is offered. In the process of measuring distinguish the task of data processing, own task of receipt to information and task of measuring process control and delivery of recommendations on the management of reservoir an ecosystem. Worked out and made eightchannel subsystem of temperature measuring. In the process of experimental researches linear dependence of temperature changes is set in water layers. It offers to take temperature in three places: overhead, middle and lower. Worked out original sensor of temperature.

The pickoff of sensor an inductive spool serves as with thermic dependent core. Flow line with the measuring devices located on pontoons is cable, and from the devices located in a reservoir – off-wire. All an ecosystem can contain to five and more storage pools. A controller analyses the information got from all modules and gives out managing signals, depending on tuning. In parallel with it a controller forms an informative package in that monitoring data are collected and gives out them on a computer.

Key words: automation system, sensor of temperature, ecological monitoring, controller, oxygen mode, fresh reservoir.

УДК 631.2:631.171.65
DOI

Прокопенко Т.О.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Березюк І.А.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Зубенко В.О.

Центральноукраїнський національний технічний університет

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВОЛОГІСНИМ РЕЖИМОМ ТЕПЛИЦІ НА ОСНОВІ АПАРАТУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

На основі аналізу стану досліджень в галузі автоматизації процесів керування мікрокліматом у теплиці, особливостей теплиці як складного об'єкта керування з перехресними зв'язками в роботі доведено, що підвищення енергоефективності процесу вирощування овочів у спорудах закритого ґрунту можна досягти за рахунок вибору та впровадження нової методології розробки та реалізації системи автоматичного керування температурно-вологісним режимом.

У статті подано методику створення автоматизованої системи керування температурно-вологісним режимом теплиці на основі нейромережевого підходу. Виконано оцінку можливості та обґрунтовано особливості використання математичного апарату нейронних мереж для створення інтелектуальної системи керування температурно-вологісним режимом у теплиці. Встановлено, що архітектура адаптивної системи керування температурно-вологісним режимом у теплиці, побудованій за допомогою такого підходу, повинна включати блок нейромережевої адаптації, на вході якого діють агротехнічні вимоги до вирощування продукції, та базу знань технологічного процесу, яка постійно оновлюється за даними про контрольовані збурення.

Нейромережева система керування температурно-вологісним режимом у теплиці змінює значення потужностей обігрівачів повітря та ґрунту до тих пір, поки температура повітря біля рослини та вологість повітря не будуть дорівнювати нормативним вимогам. У системі керування паралельно відбувається два процеси: формування енергоефективної вибірки навчальних даних, яку здійснює інтелектуальний модуль адаптації системи керування, та безпосереднє керування температурно-вологісним режимом. Мета такого розпаралелювання полягає у тому, щоб постійно (у випадку неякісної роботи системи керування) або періодично, наприклад раз на добу, адаптивно уточнювати її роботу відповідно до характеристик процесів у теплиці. Таким чином забезпечується постійне відслідковування зміни параметрів теплиці та зміна налаштувань системи керування.

Використання нейромережевої адаптації дозволило оптимізувати структуру автоматизованої системи керування температурно-вологісним режимом овочевої теплиці в умовах реального часу та створити енергоефективну поновлювану базу знань режимів функціонування автоматизованої системи керування тепличного господарства.

Ключові слова: теплиця, енергоефективність, температурно-вологісне поле, агротехнічні вимоги, алгоритм Сугено, нейронна мережа, інтелектуальна система керування, нейромережева адаптація.

Постановка проблеми. Нині можна виділити певні проблеми керування тепловими процесами споруд захищеного ґрунту. Низький рівень керування теплообмінними процесами у теплицях пов'язаний як із великими значеннями транспортного запізнення в каналах керування, так і з дією численних збурень, із нерівномірністю обігріву повітря та ґрунту трубними системами та іншими чинниками. Одна з причин полягає в недостатній

обґрунтованості використовуваних математичних моделей і відсутності систем автоматизації математичного опису цих об'єктів на всіх стадіях розробки та експлуатації автоматизованих систем управління.

Існуючі закони керування мікрокліматом теплиць не оптимальні, вони не враховують перехресних зв'язків між параметрами, що може призвести до несвочасної подачі теплоносія,

надлишкових витрат енергії і недоотримання врожаю овочів [1; 4; 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений порівняльний аналіз існуючих систем керування мікрокліматом у теплицях показав, що всі розглянуті системи не враховують нерівномірність споживання електроенергії, що призводить до її перевитрат. У найпростішому випадку енергоефективність від використання систем керування виражається економією енергетичних витрат за умови дотримання нормативних вимог щодо мікроклімату.

Одним із перспективних напрямів зниження витрат на вирощування продукції при дотриманні агротехнічних вимог є електричний спосіб обігріву.

Аналіз досліджень у галузі автоматизації процесів керування мікрокліматом у теплиці показав, що підвищення енергоефективності процесу вирощування овочів у спорудах закритого ґрунту можна досягти за рахунок вибору та впровадження нової методології розробки та реалізації системи автоматичного керування температурно-вологісним режимом. На вибір такої методології впливає багато чинників [4; 5]: характер зміни сигналів у трактах керування, збурень і завад; динаміка теплиці як об'єкта керування; тип та властивості регулюючих органів; тип джерела енергії.

Аналіз теплиці як об'єкта керування показав [4; 5], що вона належить до багатовимірних багатозв'язаних об'єктів зі змінними параметрами, які функціонують в умовах дії векторних випадкових корисних сигналів, збурень і завад, характеристики яких наперед невизначені. Тому найбільш ефективним є [1; 4; 5] формування методології проектування систем керування такими об'єктами на основі використання адаптивних методів керування в поєднанні з методами побудови нейронних мереж [2; 3].

Останнім часом все більшого розповсюдження набувають системи керування з використанням нейронних мереж [2; 3; 4]. Використання математичного апарату нечіткої логіки в системах автоматичного керування мікрокліматом у теплиці дозволяє формалізувати і опрацювати інформацію про параметри, що контролюються, яка надходить у лінгвістичній формі. Проте більша частина систем, які розглядаються, не мають інформації з об'єкта досліджень у реальному часі, оскільки працюють із базою даних з інформації, яку було отримано раніше, не враховують і не регулюють енерговитрати при виробництві овочів, що в умовах підвищення цін на енергоносії має велике значення [2; 3; 4].

Якщо взяти до уваги складність безпосереднього виміру значення норми ефективного енергоспоживання та зв'язок між її значенням і агротехнічними умовами вирощування певної культури у теплиці [2; 3; 4; 5], то стає зрозумілим, що для підвищення енергоефективності процесу вирощування овочів за рахунок автоматизації процесу керування доцільно розробити аналітичну систему самонастроювання з нейромережним обчислювачем. В аналітичних системах, які самонастроюються, необхідність у безпосередньому вимірюванні показника мети управління (наприклад, норми енергоефективності) на заданому інтервалі часу відсутня, оскільки екстремальне значення цього показника визначається побічно з аналізу агротехнічних вимог і конструкції джерела тепла. Проте виникає необхідність у технічних засобах, здатних виконувати таке вимірювання в умовах невизначеності.

Нині існує низка автоматичних систем керування та експертних систем із нечіткими та нейромережними структурами, які переважають традиційні аналоги при роботі із нелінійними та нестаціонарними об'єктами (процесами) [1; 5]. Перевагами розробок із використанням нечіткої логіки та нейронних мереж є:

1) робота в умовах невизначеності щодо характеру вхідних сигналів;

2) надійне функціонування порівняно з традиційними системами вхідних змінних.

До недоліків нейронної мережі можна віднести:

1) тривалий час навчання;

2) складність аналізу структури «навченої» мережі, неможливість її оптимізації;

3) неможливість введення апріорної (експертної) інформації для прискорення навчання мережі.

До недоліків систем із використанням нечіткої логіки можна віднести:

1) неможливість автоматичного здобуття знань у процесі функціонування;

2) необхідність розбиття універсальних множин на окремі області, що створює граничну кількість вхідних параметрів.

Усунення цих недоліків сприяло б підвищенню продуктивності роботи систем керування та керування об'єктів (процесів). Такі міркування були покладені в основу створення гібридних нейронних мереж, де висновки робляться на основі апарату нечіткої логіки, а відповідні функції належності підстроюються із використанням алгоритму навчання нейронних мереж. Ці системи можуть не лише використовувати апріорну інформацію, а й отримувати у процесі функціонування нові знання [5].

Одним із ефективних засобів вимірювання в умовах невизначеності, як доведено у літературних джерелах [4; 5], є інтелектуальна система, побудована за допомогою нейронної мережі. Тому поєднання аналітичної системи адаптації з нейронною мережею для автоматизації управління таким складним технологічним об'єктом як теплиця є обґрунтованим.

Постановка завдання. Метою роботи є обґрунтування методики створення автоматизованої системи керування температурно-вологісним режимом на основі апарату нечіткої логіки за конструкцією теплиці, характеристиками системи підігріву теплоносія, агротехнічними умовами, характеристиками датчиків і виконавчих органів системи автоматики теплиці блочного типу з комбінованим обігрівом ґрунту та повітря для підвищення ефективності процесів вирощування сільськогосподарських культур.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для вирішення поставленої задачі було обрано підхід, при якому повинно відбуватися створення бази знань роботи системи та самонавчання системи керування.

Використання адаптивних методів керування є одним з ефективних способів вирішення задач управління об'єктами в умовах невизначеності. Найдоцільнішим є використання апарату нечіткої логіки з нейромережевою адаптацією [2; 3], оскільки внаслідок зміни зазначених вище умов нейронну мережу можна буде перенавчати за рахунок накопичення бази знань під час роботи системи. Саме така можливість програмно реалізована у середовищі ANFIS Editor пакету прикладних математичних програм MatLab® [3; 4]

Із використанням нейронної мережі система керування температурно-вологісним режимом у теплиці змінює значення потужностей обігрівачів повітря та ґрунту до тих пір, поки температура повітря біля рослини та вологість повітря не встановляться рівними нормативним вимогам, які проаналізовані у [4] (рис. 1). Такий набір даних зберігається та буде використаний для створення

нейромережевої системи керування. Основним критерієм при створенні нейромережі є:

$$P_n + \alpha \cdot f \cdot (\Theta - t) = m_n \cdot c_n \cdot \frac{dt}{d\tau} + \alpha_s \cdot F_c \cdot (t - \Theta_c) + \alpha_p \cdot f_p \cdot (t - \Theta_p)$$

де: СПО – сумарна потужність обігрівачів, АВ – агротехнічні вимоги

Для опрацювання інформації було використано алгоритм Сугено (рис. 2). Сугено – це нечітка база знань, яка ділить простір вхідних змінних на нечіткі зони, у яких зв'язок між вхідними та вихідною змінною задають лінійною функцією. Результат нечіткого висновку отримують як зважену лінійну комбінацію результатів нечітких логічних висновків для кожного правила [3].

Алгоритм Сугено використовує набір правил у такій формі (наведемо приклад двох правил):

П₁: якщо $x \in A_1$ і $y \in B_1$ тоді $z_1 = a_1 x \mid b_1 y$,

П₂: якщо $x \in A_2$ і $y \in B_2$ тоді $z_2 = a_2 x \mid b_2 y$.

На першому етапі знаходяться ступені істинності для передумов кожного правила: $A_1(x_0)$, $A_2(x_0)$, $B_1(y_0)$, $B_2(y_0)$.

На другому етапі знаходяться:

$$m_c \cdot c_c \cdot \frac{d\Theta_c}{d\tau} = \alpha_c^a \cdot F_c^a \cdot (t - \Theta_c) - \alpha_c^n \cdot F_c^n \cdot (\Theta_c - t_s), \quad (1)$$

індивідуальні виходи правил:

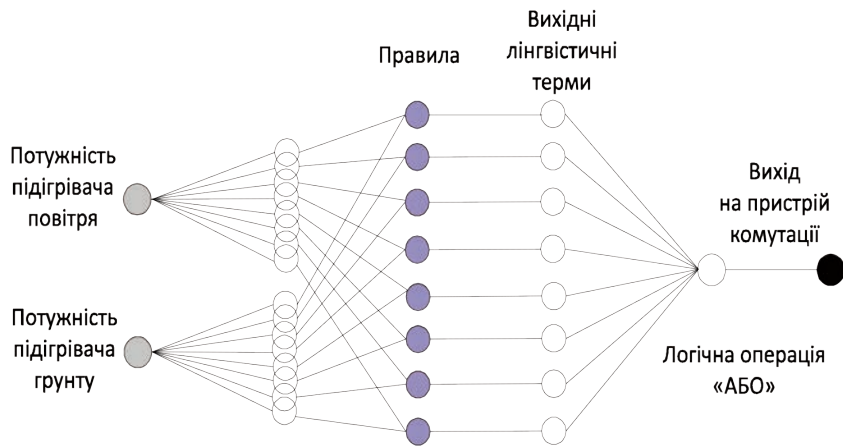


Рис. 1. Архітектура АСК температурно-вологісним режимом (модуль ANFIS-Editor MatLab®)



Рис. 2. Структура нечіткої АСК температурно-вологісним режимом (модуль FIS-Editor MatLab®)

$$m_p \cdot c_p \cdot \frac{d\Theta_p}{d\tau} = \alpha_p \cdot f_p \cdot (t - \Theta_p), \quad (2)$$

На третьому етапі визначається чітке значення змінної висновку:

$$z_0 = \frac{\alpha_1 z_1^* + \alpha_2 z_2^*}{\alpha_1 + \alpha_2}, \quad (3)$$

де A_1, A_2, B_1, B_2 – нечіткі множини вхідних параметрів АСК температурно-вологісним режимом у теплиці; x та y – вхідний і вихідний сигнали; α_1, α_2 – ступені істинності; z_1, z_2 – індивідуальні виходи правил; z_0 – вихід мережі.

Архітектура комплексу прийняття рішень автоматизованої системи керування, представлена на рис. 3, буде мати у своєму складі:

- блок нечіткого керування;
- пристрій комутації (вибору режиму);
- базу знань технологічного процесу;
- блок нейромережевої адаптації.

На вхід надходять дані щодо потужності, яка здатна забезпечити необхідний температурно-вологісний режим у теплиці. Вихідний параметр – потужність, яка потрібна для обігріву теплиці при дотриманні агротехнічних вимог та економії енерговитрат у виробника. Залежно від їх значень комутаційний пристрій повинен забезпечувати один із режимів:

- Режим 1 – підключення лише обігрівача повітря.
- Режим 2 – підключення лише обігрівача ґрунту.
- Режим 3 – підключення обігрівача повітря та ґрунту.

На початковому етапі за допомогою нейронної мережі із використанням експертних даних відбувається адекватне налаштування системи керування на основі нечіткої логіки. Далі відбувається запуск автоматизованої системи керування. У процесі функціонування постійно поповнюється база знань технологічного процесу. На початковому етапі нейромережевого моделювання температурно-вологісного режиму в теплиці база знань наповнюється на основі експериментальних досліджень.

При невідповідності якості керування або через певний інтервал часу (встановлюється фахівцем-експертом) інформація із бази даних передається на інтелектуальний модуль, де за допомогою нейронної мережі здійснюється перенавчання нечіткої системи. Все це виконується на основі алгоритму зворотного розповсюдження помилки, який можна реалізувати за допомогою модуля Fuzzy Logic Toolbox програмного пакету MatLab®, а саме графічного інтерфейсу гібридних (нечітких) нейронних мереж ANFIS (Adaptive Network Based Fuzzy Inference System). Цей редактор дозволяє автоматично синтезувати з експериментальних даних нейронечіткої мережі. У системі використано нейронну мережу типу радіально-базисна функція (RBF) (рис. 4) [6; 7; 8].

Аналіз результатів імітаційного моделювання [8] дозволив зробити висновок, що якісні характеристики системи керування задовольняють агротехнічні вимоги. Використавши створену адекватну нейромережеву модель, сформовано енергоефективну вибірку даних для синтезу відповідної інтелектуальної системи керування.

Використання нейромережевої адаптації дозволило оптимізувати структуру автоматизованої системи керування температурно-вологісним режимом овочевої теплиці в умовах реального часу та створювати енергоефективну поновлювану базу знань режимів функціонування автоматизованої системи керування тепличного господарства.

Висновки. Визначено, що виконання завдань формування мікроклімату доцільно здійснювати шляхом апарату

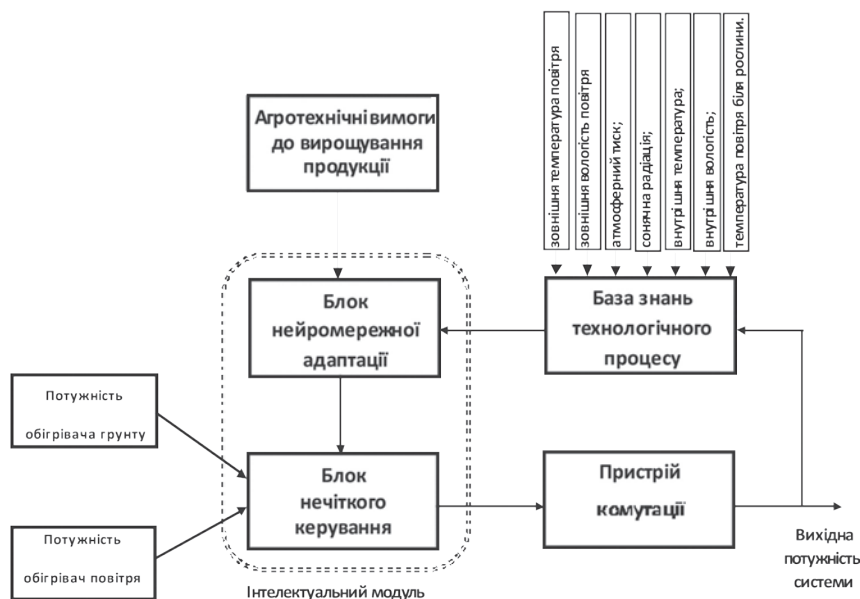


Рис. 3 Архітектура автоматизованої системи керування температурно-вологісним режимом овочевої теплиці

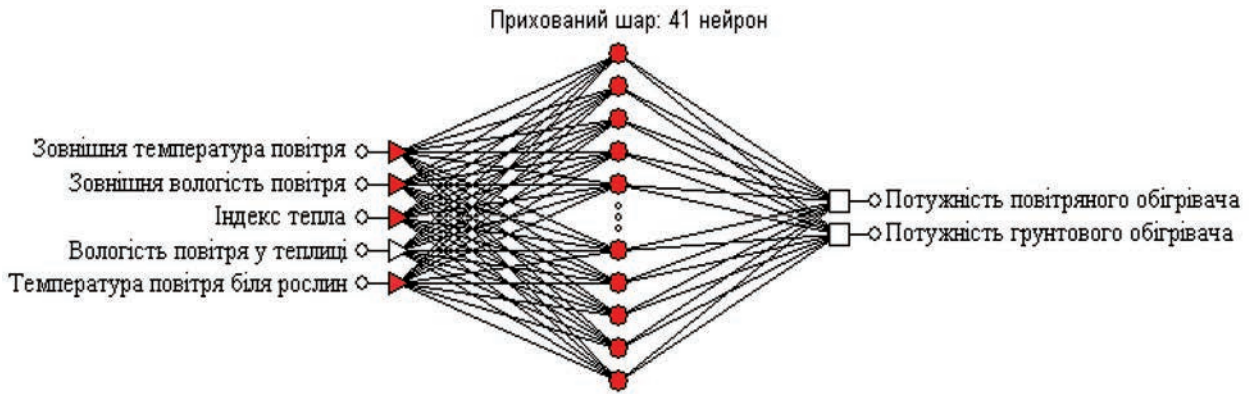


Рис. 4. Архітектура нейромережевої моделі температурно-вологісного режиму у теплиці

нечіткої логіки. Оцінено можливість та обґрунтовано особливості використання математичного апарату нейронних мереж для створення інтелектуальної системи керування температурно-вологісним режимом у теплиці.

Встановлено, що архітектура адаптивної системи керування температурно-вологісним режи-

мом у теплиці аркового типу, вона побудована за допомогою нечіткого підходу і повинна включати блок нейромережевої адаптації, на вході якого діють агротехнічні вимоги до вирощування продукції, та базу знань технологічного процесу, яка постійно оновлюється за даними про контрольовані збурення.

Список літератури:

1. Гілля Л.С. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту. Частина 1. Закритий ґрунт. Вінниця : Нова книга, 2008, 364 с.
2. X. Blasco Model-based predictive control of greenhouse climate for reducing energy and water consumption. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2007. Vol. 55, Issue 1. P. 49–70.
3. Корчемний М.О., Лисенко В.П. Нейронні мережі. Київ : НАУ, 2008. 156 с.
4. Лисенко В.П., Дудник А.О. Оптимальне управління: стан та перспективи розвитку в тепличній галузі. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2011. Вип. 166. С. 53–56.
5. Іновативні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу / А.П. Ладанюк, В.М. Решетюк, В.Д. Кишенько, Я.В. Смітюх. Київ : Центр учбової літератури, 2014. 280 с.
6. Прокопенко Т.О. Інтелектуальна система керування температурно-вологісним режимом у теплиці. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК»*. 2015. Вип. 209. Ч. I. С. 140–147.
7. Прокопенко Т.О., Мірошніченко М.С., Зубенко В.О. Комп'ютерно-інтегрована система автоматизації мікроклімату у теплиці з використанням нейромереж. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»*. 2014. Вип. 154. С. 79–82.
8. Прокопенко Т.О., Мірошніченко М.С., Зубенко В.О. Моделювання нейромережевого керування температурно-вологісним режимом у теплиці. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2016. Вип. 29. С. 235–239.

Prokopenko T.O., Bereziuk I.A., Zubenko V.O. AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF TEMPERATURE-HUMIDITY REGIME OF THE GREENHOUSE ON THE BASIS OF THE FUZZY LOGIC APPARATUS

Based on the analysis of the state of research in the field of automation of microclimate control processes in the greenhouse, features of the greenhouse as a complex control object with cross-links, it is proved that increasing energy efficiency of vegetable growing in indoor facilities can be achieved by the implementation of an automatic control system for temperature and humidity. The article presents the method of creation of automated control system of a temperature-humidity mode of the greenhouse based on the neural network approach.

Besides, it includes the assessment of the possibility and features of the use of the mathematical apparatus of neural networks to create an intelligent control system for temperature and humidity in the greenhouse. It is established that the architecture of the adaptive temperature-humidity control system in a greenhouse built using this approach should include a neural network adaptation unit, at the entrance of which there are agronomic requirements for growing products and a knowledge base of technological process, which is constantly updated on controlled disturbances.

The neural network temperature and humidity control system in the greenhouse changes the values of air and soil heaters until the air temperature near the plant and humidity are equal to the regulatory requirements. In the control system there are two processes in parallel: the formation of energy-efficient sampling of educational data, which is carried out by an intelligent module of adaptation of the control system and direct control of temperature and humidity. The purpose of such parallelization is to constantly, in case of poor operation of the control system or periodically, for example once a day, adaptively refine its operation in accordance with the characteristics of the processes in the greenhouse.

This ensures constant monitoring of changes in the parameters of the greenhouse and changes in the settings of the control system. The use of neural network adaptation allowed to optimize the structure of the automated control system of temperature and humidity of the vegetable greenhouse in real-time and to create an energy-efficient renewable knowledge base of the automated control system of the greenhouse.

Key words: *greenhouse, energy efficiency, temperature – humidity field, agrotechnical requirements, Sugeno algorithm, neural network, intelligent control system, neural network adaptation.*

УДК 683.3.05
DOI

Радченко К.О.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА ВЕБСЕРВЕР

Тематика статті пов'язана з вирішенням актуальної науково-практичної задачі вдосконалення математичного забезпечення прогнозування навантаження на вебсервер. У результаті проведеного аналізу літературних джерел визначена перспективність вдосконалення шаблонів нормальної поведінки вебсерверів шляхом впровадження у їх математичне забезпечення сучасних методів частотно-часового аналізу сигналів на базі теорії вейвлет-перетворень.

Визначена недостатня висвітленість у доступній літературі питань, пов'язаних із обґрунтуванням адаптації типу базисного вейвлету до умов створення шаблону нормальної поведінки вебсерверу. Запропоновано виправити вказаний недолік шляхом створення методу визначення ефективного типу базисного вейвлету, призначеного для розробки шаблону нормальної поведінки. Для цього обґрунтовано низку положень і перелік критеріїв ефективності, які дозволяють забезпечити вибір ефективного типу базисного вейвлету відповідно до важливіших вимог задачі розробки вказаного шаблону.

Суть методу полягає у визначенні параметрів, які характеризують базисні вейвлети, та їх співвіднесенні з важливими умовами формування шаблону нормальної поведінки вебсерверу. За допомогою комп'ютерних експериментів показано, що метод дозволяє обрати тип базисного вейвлету, який забезпечує врахування у побудованому шаблоні нормальної поведінки складного багатоперіодичного характеру динаміки параметрів захисту вебсерверу. Точність такого шаблону знаходиться на рівні сучасних систем прогнозування навантаження вебсерверу. При цьому важливою перевагою методу є уникнення в процесі розробки вейвлет-моделі шаблону нормальної поведінки тривалих численних експериментів, спрямованих на визначення типу базисного вейвлету.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розвитком запропонованого методу в напрямі адаптації параметрів базисного вейвлету до умов поставленої задачі.

Ключові слова: вейвлет-модель, шаблон нормальної поведінки, вебсервер, захист інформації, базисний вейвлет.

Постановка проблеми. У зв'язку з інтенсивним зростанням мережевих комп'ютерних систем, впровадженням таких систем у різні галузі діяльності людини проблема забезпечення захисту і надійності їх функціонування стає все більш важливою і актуальною. До складу практично усіх сучасних мережевих комп'ютерних систем входить один або кілька серверів, які забезпечують інтеграцію з глобальною комп'ютерною мережею Internet. До типових функцій вебсерверів належить забезпечення сервісів WWW, FTP та електронної пошти.

Практичний досвід свідчить про неодноразові порушення працездатності мережевих комп'ютерних систем через порушення функціонування програмного забезпечення вебсервера внаслідок успішних кібератак типу «відмова в обслуговуванні» [2; 5; 6]. Очевидно, що попередження зазначених порушень пов'язано з розробкою ефективних засобів розпізнавання кібератак такого типу. На думку багатьох дослідників

[1; 12; 13; 17], підвищити ефективність таких коштів не можливо без розробки нових методів і моделей, на підставі яких можна сформулювати досить достовірний прогноз значень параметрів як в разі нормальних умов функціонування, так і при реалізації кібератак.

Тому безпека мережевих комп'ютерних систем безпосередньо залежить від достовірності методів і моделей прогнозу параметрів прогнозованості, розробка яких і є спільною метою цієї статті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Базуючись на загальній методології розробки моделі оцінки параметрів захищеності веб-орієнтованих інформаційних систем, визначено [15], що архітектура такої моделі безпосередньо залежать від множини тих параметрів, які власне і визначають навантаження на вебсервер. Враховуючи типові задачі, які виконує інтернет-сервер, а також використовувані ним мережеві комунікаційні протоколи, визначено три групи параметрів, кожен з яких характеризує використання:

- апаратних ресурсів комп'ютера-сервера;
- ресурсів операційної системи;
- мережевих ресурсів.

Для визначення довгострокового прогнозу необхідно проаналізувати природу подій, їх можливий зв'язок з низкою інших легко прогнозованих подій. Розглянемо роботу вебсервера вищого навчального закладу. Тут повинен бути зв'язок із розкладом занять, з ритмами (циклами) життя людей. Повинна прослідковуватися добова періодичність, тижнева, семестрова, річна. Необхідно мати дані спостережень не менш ніж за рік. Виявлення періодів і їхня стійкість – це вже ключ до прогнозу. Оскільки спостереження відбуваються у часі, то і отриману функцію від часу ми будемо розглядати як сигнал.

Практичний досвід і результати [7] вказують на те, що ефективність більшості вітчизняних корпоративних інформаційних систем безпосередньо залежить від якості функціонування вебсерверу, за допомогою якого забезпечуються відповіді на запити віддалених інтернет-клієнтів. Очевидно, що обчислювальні ресурси вебсерверу повинні відповідати його завантаженості, інакше вебсервер або не зможе адекватно забезпечувати потреби користувачів інформаційної системи, або резервування надлишкових потужностей призведе до економічних втрат. Висновки і результати, отримані в [10], вказують на невідповідність існуючих інформаційних технологій прогнозування навантаження вебсерверу сучасним вимогам.

У [8] доведено, що недостатня точність прогнозування здебільшого пов'язана з недосконалістю існуючих методів і моделей прогнозу, які базуються на спрощеному математичному апараті і не дозволяють адаптуватися до типових процесів зміни параметрів навантаження. З точки зору виконання заданих функцій завантаженість вебсерверу залежить від його спроможності обслуговувати

HTTP-запити віддалених користувачів корпоративної комп'ютерної мережі. У першому наближенні можна вважати, що вебсервер витрачає однаковий обсяг обчислювальних ресурсів на виконання кожного запиту. Тому навантаження серверу здебільшого залежатиме від кількості отриманих HTTP-запитів і встановлених HTTP-з'єднань. Однак такі операції можуть бути деталізовані відповідно до протоколу TCP/IP, який є основою HTTP.

Навантаження вебсерверу можна оцінити за допомогою величин функціональних параметрів, які відповідають обсягам запитів і з'єднань по протоколах TCP/IP та HTTP. Зазначимо, що практичний досвід і результати [8] вказують на складний вигляд процесу зміни вказаних параметрів. У [5; 7] доведено, що для вебсерверу типовими є як стаціонарні, так і нестационарні режими експлуатації з багато-періодичним характером зміни величин функціональних параметрів. Нестационарність режимів експлуатації виявляється у нестационарності моментів виникнення / зникнення періодичних складників.

На рис. 1, 2 показано коливання графіків вхідного-вихідного трафіку та рівня навантаженості на прикладі досліджуваного вебсервера протягом тижня.

У результаті проведеного аналізу [15] можна стверджувати, що застосування вейвлет-перетворень є одним із найперспективніших напрямів підвищення ефективності систем прогнозування навантаження на вебсервер. Можна стверджувати, що в сучасних вейвлет-системах прогнозування не повністю відображені питання, пов'язані з вибором параметрів материнського вейвлету. При цьому теорія вейвлет-перетворень свідчить, що неправильний вибір цих параметрів може значно знизити ефективність системи прогнозування. Тому метою цієї роботи є створення методу вибору типу базисного вейвлету, найбільш ефективного при прогнозуванні параметрів навантаження на вебсервер.

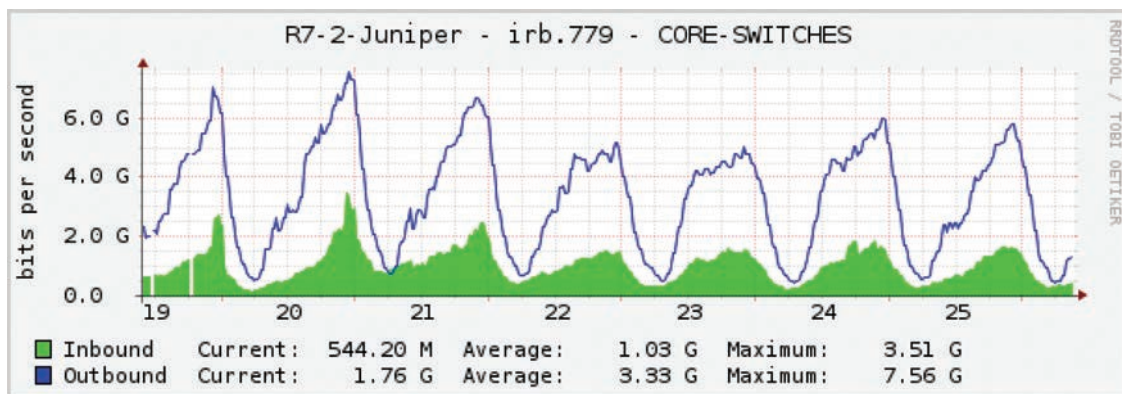


Рис. 1. Коливання вхідного та вихідного трафіку за тиждень на прикладі досліджуваного вебсервера

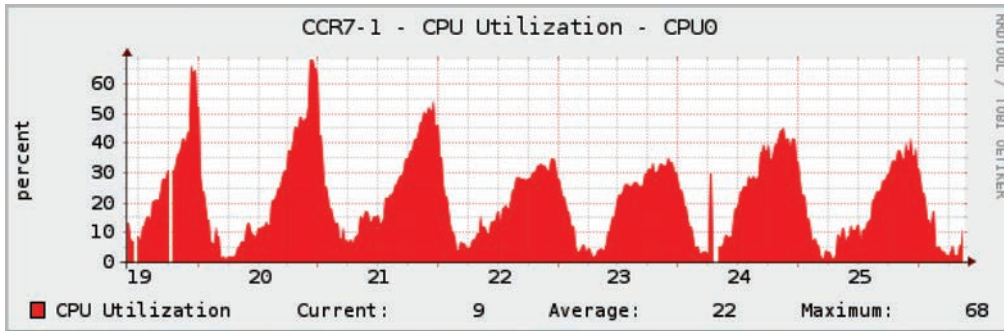


Рис. 2. Рівень навантаженості на сервер протягом тижня на прикладі досліджуваного вебсерверу

Постановка завдання. За аналогією з відомими методами розробки засобів прогнозування параметрів комп’ютерних систем [1; 2; 14; 16] розробляється метод вибору типу базисного вейвлету, який базується на таких положеннях:

1) критерії вибору найбільш ефективного типу базисного вейвлету повинні відображати міру його пристосованості до поставленої задачі – створення шаблону нормальної поведінки;

2) під k -им критерієм визначення найбільш ефективного типу базисного вейвлету будемо розуміти міру забезпечення в цьому типі вейвлету k -ої вимоги задачі створення шаблону;

3) розрахунок ефективності i -го типу базисного вейвлету можна представити у вигляді:

$$R_i = \sum_{k=1}^K \alpha_k r_k(i), \quad (1)$$

де R_i – показник інтегральної ефективності i -го типу базисного вейвлету, $r_k(i)$ – k -ий критерій ефективності i -го типу материнського вейвлету, α_k – ваговий коефіцієнт k -го критерію ефективності, K – кількість критеріїв ефективності;

4) найбільш ефективний тип базового вейвлету визначається так:

$$R_{eff} = \max \{R\}_I, \quad (2)$$

де $\{R\}_I$ – множина показників інтегральної ефективності типів базисних вейвлетів, I – потужність множини.

Формування базових положень розробки методу вибору типу базисного вейвлету дозволило перейти до наступного етапу досліджень – формування множини критеріїв ефективності, які використовуються у виразі 1). Для цього було проведено аналіз характеристик апробованих типів базисних вейвлетів (табл. 1).

Базою для аналізу слугували теоретичні роботи [7; 8; 10]. Аналіз проводився з точки зору вейвлет-перетворення дискретних сигналів, визначених на

Таблиця 1

Апробовані типи базисних вейвлетів

Назва	Аналітичний запис
WAVE-вейвлет	$\psi(t) = -t \exp(-\frac{t^2}{2})$
МНАТ	$\psi(t) = (1 - t^2) \exp(-\frac{t^2}{2})$
Гауссіан n -го порядку	$\psi_n(t) = (-1)^n \frac{\partial^n}{\partial t^n} (\exp(-\frac{t^2}{2}))$
DOG-вейвлет	$\psi(t) = \exp(-\frac{ t ^2}{2}) - \frac{1}{2} \exp(-\frac{ t ^2}{8})$
LP-вейвлет	$\psi(t) = (\pi t)^{-1} (\sin(2\pi t) - \sin(\pi t))$
Daubechies вейвлет	$\psi(t) = \sqrt{2} \sum_k g_k \varphi(2t - k)$
HAAR	$\psi(t) \geq \begin{cases} 1, & 0 \leq t < 1/2 \\ -1, & 1/2 \leq t < 1 \\ 0, & t < 0, t \geq 1 \end{cases}$
FHAT	$\psi(t) \geq \begin{cases} 1, & t \leq 1/3 \\ -1/2, & 1/3 < t \leq 1 \\ 0, & t > 1 \end{cases}$
Morlet	$\psi(t) = \exp(ik_0 t) \exp(-\frac{t^2}{2})$
Paul	$\psi(t) = \Gamma(n+1) \frac{i^n}{(1-it)^{n+1}}$

кінцевому інтервалі часу. В результаті аналізу у першому наближенні було сформовано множину критеріїв ефективності:

rI – наявність у вейвлет-коефіцієнтах надлишкової інформації;

r_2 – відсутність у вейвлет-коефіцієнтах надлишкової інформації;

r_3 – можливість реалізації швидкого вейвлет-перетворення;

r_4 – наявність нескінченної регулярності;

r_5 – наявність випадкової регулярності;

r_6 – симетричність базисної функції;

r_7 – асиметричність базисної функції;

r_8 – ортогональність базисної функції;

r_9 – наявність масштабування функції;

r_{10} – можливість повного відновлення сигналу;

r_{11} – компактність базисної функції;

r_{12} – схожість геометрії базисної функції з геометрією аналізованого процесу.

За аналогією з [14; 16] прийнято, що в першому наближенні значення запропонованих критеріїв від r_1 до r_{11} можуть бути оцінені по двобальній дискретній шкалі. При цьому для i -го типу базисного вейвлету значення k -го критерію дорівнює

1, якщо відповідна k -та вимога повністю забезпечується, і дорівнює 0, якщо не забезпечується. Розраховані значення критеріїв для апробованих типів базисних вейвлетів наведені у табл. 2.

Виклад основного матеріалу дослідження. Використання розроблених базових положень визначення найбільш ефективного виду базисного вейвлету і результати робіт, присвячених побудові ефективних нейромережових моделей оцінки параметрів, дозволили запропонувати метод вибору типу базисного вейвлету, призначеного для розробки шаблону нормальної поведінки вебсерверу:

1) формалізація умов завдання розробки шаблону з метою визначення виду і значень параметрів, які визначають захищеність вебсерверу;

2) визначення значущості кожного із критеріїв ефективності, представлених у табл. 2. Визначення можливо реалізувати шляхом експертного оцінювання;

Таблиця 2

Значення критеріїв ефективності для апробованих типів базисних вейвлетів

Тип вейвлету	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	r_{10}	r_{11}
WAVE	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
МНАТ	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
Гаусіан	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
DOG	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
LP	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
Добеші	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
НААР	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
FNAT	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0
Morlet	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
Paul	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0

Таблиця 3

Значення критерію r_{12} для апробованих типів базисних вейвлетів

Тип базису	WAVE	МНАТ	Гаусіан	DOG	LP
r_{12}	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
Тип базису	FNAT	НААР	Daubechies-5	Morlet	Paul
r_{12}	0,5	0,3	0,9	0,3	0,5

Таблиця 4

Вагові коефіцієнти критеріїв ефективності типу базисного вейвлету

r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6
0,15	0,01	0,07	0,06	0,06	0,06
r_7	r_8	r_9	r_{10}	r_{11}	r_{12}
0,06	0,06	0,06	0,15	0,06	0,2

Таблиця 5

Значення інтегрального показника ефективності R для апробованих типів базисних вейвлетів

Тип базису	WAVE	МНАТ	Гаусіан	DOG	LP
R	0,36	0,38	0,23	0,38	0,23
Тип базису	FNAT	НААР	Daubechies-5	Morlet	Paul
R	0,59	0,73	0,87	0,34	0,38

3) розрахунок ефективності кожного типу базисного вейвлету. Для цього необхідно використати вираз 1);

4) визначення за допомогою виразу 2) найбільш ефективного типу базисного вейвлету.

Розглянемо запропонований метод на конкретному прикладі вибору типу базисного вейвлету, призначеного для прогнозування навантаження на вебсервер:

1. Визначено, що шаблон нормальної поведінки вебсерверу необхідно оцінити на основі статистики звернень, графік якої наведено на рис. 1, 2. Таким чином прогнозована функція описується виразом $K=f(t)$, де K – кількість звернень до вебсерверу протягом доби, t – час.

2. Для кожного із апробованих типів базисних вейвлетів значення критерію $r12$ отримано в результаті порівняння геометрії відповідної функції з графіком статистики кількості звернень, показаним на рис. 1. Отримані значення наведені в табл. 3.

3. Оцінка важливості кожного з критеріїв ефективності у поставленій задачі була реалізована за допомогою експертного методу парного порівняння. Отримані результати показані в табл. 4.

4. Розрахунок показника інтегральної ефективності кожного із апробованих типів базисних вейвлетів реалізовано шляхом підстановки даних табл. 2-4 у вираз 1). Отримані результати наведені в табл. 5.

5. З використанням виразу 2) визначено, що найбільш ефективним є вейвлет Daubechies-5.

Визначення найбільш ефективного типу базисного вейвлету дозволило провести числові експерименти, спрямовані на верифікацію отриманих рішень шляхом перевірки точності апроксимації статистичних даних і можливості використовувати вейвлет-коефіцієнти для визначення локальних особливостей процесу навантаження. Розрахунки виконувалися у програмному середовищі Wavelet Toolbox системи MATLAB. У результаті аналізу були одержані графіки вейвлет-спектру, представлені на рис. 3.

Аналіз даних рис. 3 вказує на те, що в досліджуваному процесі простежуються 4 періодичні складники, які відповідають певному часу доби. Також проведено зворотне дискретне вейвлет-перетворення сигналу

по набору вейвлет-коефіцієнтів. Графіки відновленого і вихідного сигналу показані на рис. 4.

Можна вказати на досить високу схожість зазначених графіків. При цьому середня помилка апроксимації не перевищує 5%. У той же час середня помилка апроксимації за допомогою інших типів базисних вейвлетів склала близько 10%. Як показано у роботах [6; 12; 13; 17] помилка апроксимації у подібній статистиці знаходиться на рівні 5-7%.

Результати експериментів підтверджують можливість застосування розробленого методу, перспективи вдосконалення якого полягають в уточненні розрахунку критеріїв ефективності і їх вагових коефіцієнтів. Крім того, викликає інтерес деталізація запропонованого методу в напрямі розрахунку параметрів базисного вейвлету.

Висновки. Показано, що одним із найбільш перспективних напрямів розвитку систем прогнозування навантаженості на вебсервер є удосконалення математичного забезпечення шаблонів нормальної поведінки за рахунок застосування сучасних методів частотно-часового аналізу сигналів на базі теорії вейвлет-перетворень.

Визначено, що труднощі застосування теорії вейвлет-перетворень насамперед пов'язані з вибором типу базисного вейвлету, параметри якого мають бути адаптовані до умов застосування в конкретній системі розпізнавання кібератак.

Запропоновано метод вибору типу базисного вейвлету, найбільш ефективного при прогнозуванні параметрів навантаження на вебсервер. Метод базується на низці запропонованих положень і критеріїв ефективності, які дозволяють забезпечити при виборі типу базисного вейвлету

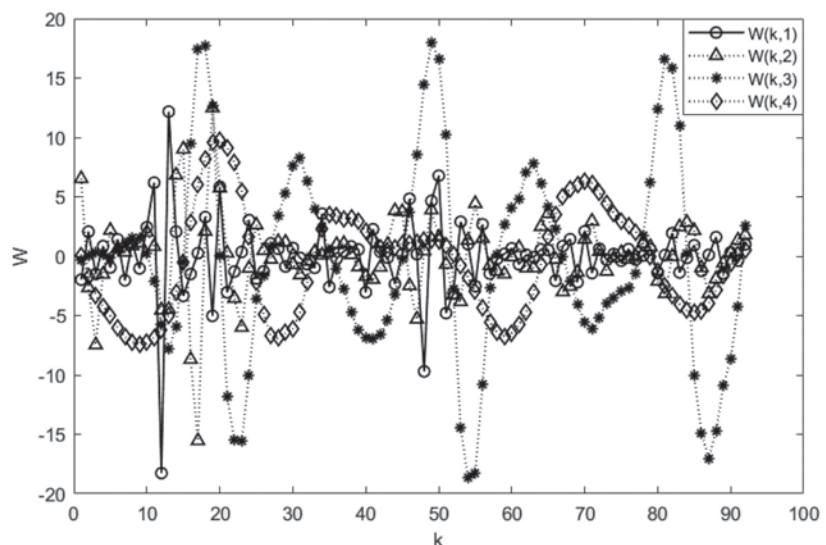


Рис. 3. Вейвлет-спектр відвідуваності вебсерверу

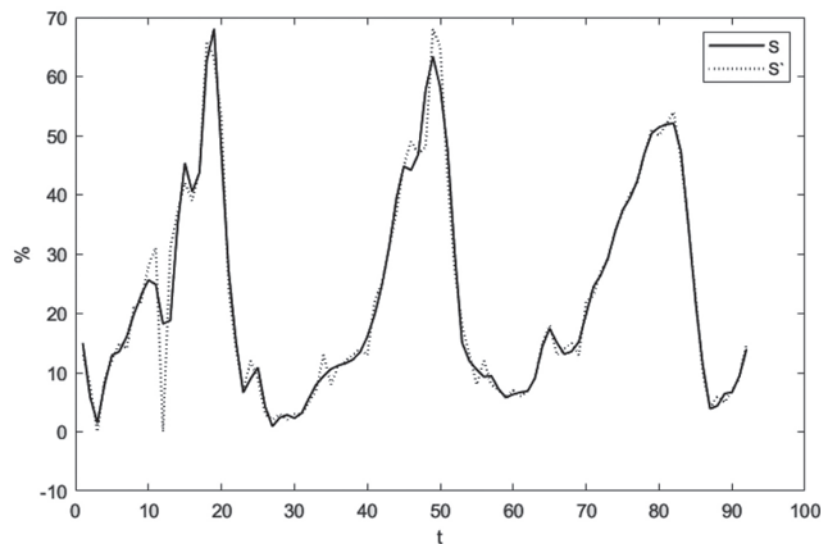


Рис. 4. Графіки вихідного (S) і відновленого сигналу (S')

важливі вимоги до поставленої задачі з метою розробки шаблону поведінки. При цьому шляхом численних експериментів з використанням зібра-

запропонованого методу за рахунок розробки процедури розрахунку параметрів базисного вейвлету.

них статистичних даних кількості звернень до вебсерверу одного з університетів України показано, що метод дозволяє обрати тип базисного вейвлету, використання якого забезпечує похибку апроксимації на рівні похибки сучасних систем прогнозування навантаження вебсерверів. Важливою перевагою методу є можливість уникнення в процесі розробки вейвлет-моделі тривалих і численних експериментів, спрямованих на визначення типу базисного вейвлету.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з уточненням процесу розрахунку критеріїв ефективності та удосконаленням

Список літератури:

1. Bariyev I.M., Aitchanov B.H., Tereikovskiy I.A., Tereikovska L.A., Korchenko A.A. (2017). "Deep neural networks in cyber attack detection systems", *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, Volume 8, Issue 11, November 2017, p. 1086–1092.
2. Довлад О.А. Дослідження та розробка моделі процесу атаки та трафіку локальної мережі / О.А. Довлад // *Захист інформації*. 2009. № 1. Р. 83–86.
3. Dychka I., Tereikovskiy I., Tereikovska L., Pogorelov V., Mussiraliyeva S. (2018). "Deobfuscation of computer virus malware code with value state dependence graph". *Advances in Intelligent Systems and Computing*, p. 370–379, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-91008-6.
4. Менаске Д. Производительность Web-служб. Анализ, оценка и планирование / Менаске Д., Виргилио А.; пер. с англ. СПб: «ДиаСофтЮп», 2003, 480 с.
5. Переберин А.В. О классификации вейвлет-преобразований. *Выч. мет. программирование*, 2:3 (2001), с. 15–40.
6. Qi-Song Chen; Xin Zhang; Shi-Huan Xiong; Xiao-Wei Chen Short-term power load forecasting with least squares support vector machines and wavelet transform. 2008 *International Conference on Machine Learning and Cybernetics* Year: 2008, Volume: 3. Pages: 1425–1429.
7. Sitnikov V.S., Bilenko A.A. Classification of wavelet functions. *Труды Одесского политехнического университета*, 2008, вып. 1(29). С. 168–171.
8. Сыропятов А.А. Метод мониторинга трафика защищенных высокоскоростных коммерческих сетей нового поколения / А.А. Сыропятов // *Наукові записки УНДІЗ*. 2009. № 2(1). С. 65–73.
9. Steinbuch M. *Wavelet Theory and Applications A literature study* / M. Steinbuch, M.J.G. van de Molengraft. Eindhoven University of Technology, 2005. 39 с.
10. Shuping Yao; Changzhen Hu; Wu Peng. Server Load Prediction Based on Wavelet Packet and Support Vector Regression 2006. *International Conference on Computational Intelligence and Security* Year: 2006, Volume: 2 Pages: 1016–1019.
11. Tereykovska L., Tereykovskiy I., Aytkhozhayeva E., Tynymbayev S., Imanbayev A. (2017). "Encoding of neural network model exit signal, that is devoted for distinction of graphical images in biometric authenticate systems", *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, Volume 6, Number 426, p. 217–224, 2017.
12. Zhengbing Hu, Igor A. Tereykovskiy, Lyudmila O. Tereykovska, Volodymyr V. Pogorelov. "Determination of Structural Parameters of Multilayer Perceptron Designed to Estimate Parameters of Technical Systems", *International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA)*, Vol. 9, № 10, p. 57–62, 2017. DOI: 10.5815/ijisa.2017.10.07.

13. Zhengbing Hu, Igor A. Tereykovskiy, Lyudmila O. Tereykovska, Mykola M. Tsiutsiura, Kostiantyn O. Radchenko. Applying Wavelet Transforms for Web Server Load Forecasting // Advances in Computer Science for Engineering and Education II. ICCSEEA 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 938, p. 13–22 (2019). Springer. Cham: https://doi.org/10.1007/978-3-030-16621-2_2.

14. Zijiang Yang Research on Server Load Prediction Based on Wavelet Packet Theory 2007. First IEEE International Symposium on Information Technologies and Applications in Education Year: 2007 Pages: 610–613.

15. Якубен М.Б. Обнаружение сетевых атак методом поиска аномалий на основе вероятностного и верификационного моделирования / М.Б. Якубен // Штучний інтелект. 2005. № 3. С. 679–687.

Radchenko K.O. CONCEPTUAL MODEL FOR ENSURING EFFICIENCY OF WEB SERVER LOAD FORECASTING

The subject of the article is related to the solution of the current scientific and practical problem of improving the mathematical software for forecasting the load on the web server. As a result of the analysis of literary sources, the prospect of improving the patterns of normal behavior of web servers was determined by introducing in their mathematical support of modern methods of time-frequency signal analysis based on the theory of wavelet transforms.

The lack of illumination in the available literature of issues related to the justification of adapting the type of the basic wavelet with the conditions for creating a pattern of the normal behavior of a web server was also determined. It is proposed to correct this drawback by creating a method for determining the effective type of the basic wavelet, which is designed to develop a pattern of normal behavior. For this, a number of provisions and a list of performance criteria are justified, which allow for the selection of the effective type of the basic wavelet in accordance with the significant requirements of the development task of the specified template.

The essence of the method consists in determining the parameters characterizing the basic wavelets and their correlation with the important conditions for the formation of the pattern of normal behavior of the web server. Using computer experiments, it was shown that the method allows choosing the type of basic wavelet that takes into account in the constructed pattern the normal behavior of the complex multi-period nature of the security parameters of the web server. The accuracy of this pattern is at the level of modern web server load forecasting systems. At the same time, an important advantage of the method is the avoidance during the development of the wavelet model of the normal behavior pattern of long-term numerous experiments aimed at determining the type of the base wavelet.

Prospects for further research are associated with the development of the proposed method in the direction of adapting the parameters of the basic wavelet to the conditions of the task.

Key words: *Wavelet model, pattern of normal behavior, web server, information protection, base wavelet.*

Самойленко М.Ю.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ПРИНЦИПИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ У СУЧАСНОМУ СВІТІ ТЕХНІКИ

Розкрито принципи застосування технології Інтернет речей у сучасному світі техніки. Наведено архітектуру Інтернету речей, яка складається із чотирьох пов'язаних між собою рівнів. Розкрито технологію M2M (міжмашинна взаємодія), яка давно використовується в різних галузях економіки. Ця технологія є надійним способом збору даних, однак на стадії прийняття рішень вимагає обов'язкової участі людини.

Відмінність Інтернету речей полягає в автоматизації рутинних дій, заснованих на аналізі даних. Підкреслено, що Інтернет речей можна визначити як інформаційно-технологічну концепцію побудови інформаційних і комунікаційних інфраструктур на основі обчислювальної мережі, що з'єднує речі (фізичні об'єкти), оснащені інформаційними технологіями для здійснення комунікаційного обміну один з одним і глобальною інформаційно-комунікаційною інфраструктурою або безпосередньо, або через інтегровані з ними пристрої, які мають адресу протоколу Інтернет (IP) без участі людини з метою збору, передачі, накопичення та обробки інформації.

Наведено принципи застосування Інтернету речей в електроенергетиці, у сфері охорони здоров'я. Визначено особливості автоматизації сільськогосподарської діяльності, обґрунтовано сферу впливу Інтернету речей на сільське господарство, а саме на точне землеробство, управління сільськогосподарським транспортом, «розумні ферми», «розумні теплиці». Окреслено сферу дії Інтернету речей під час моніторингу стану будівель і контролю якості повітря. Зазначено принципи застосування Інтернету речей у сфері логістики. Наголошується, що Інтернет речей є одним із основних пріоритетних напрямів щодо вирішення питання скорочення витрат і затримки вантажів у дорозі, підвищення прозорості операцій і мінімізації участі людини у цих процесах.

***Ключові слова:** Інтернет речей, область застосування, технологія, інтелектуальні датчики, автоматизація, архітектура.*

Постановка проблеми. У ХХ столітті суспільство пережило два періоди значних змін структури економік більшості розвинених країн – індустріалізації в першій половині століття і комп'ютеризації вкінці. Обидва стрибки призвели до значного підвищення продуктивності праці, зростання більшості економік і підвищення добробуту населення. Починаючи з 2000-х років, незважаючи на бурхливе впровадження нових технологій в області мобільного зв'язку, передачі даних і розвиток мережі Інтернет, нового стрибка в продуктивності за рахунок автоматизації не спостерігалось. На нашу думку, для того, щоб він відбувся, повинна бути досягнута певна критична маса нових технологій, впроваджених у повсякденне життя, бізнес і промисловість.

Багато країн покладають великі надії на цифровізацію економік, розуміючи під цим різні елементи автоматизації. Одним із найбільш ефективних інструментів у досягненні нового рівня цифровізації може стати Інтернет речей. Нині одним із ключових понять цифрової економіки є саме Інтернет речей (Internet of Things – IoT).

У літературі домінує точка зору, що першу в світі Інтернет-річ у 1990 році створив один із розробників протоколу TCP / IP Дж. Ромки, коли підключив до мережі свій тостер. Архітектура Інтернету речей була розроблена в Центрі автоматичної ідентифікації (Auto-ID Center) Массачусетського технологічного інституту (MIT USA), який займався новими сенсорними технологіями. У 1999 році його засновником К. Ештаном на презентації для керівництва компанії Procter & Gamble і був введений в обіг термін “Internet of Things”. Варто зауважити, що спочатку в якості передумови для поняття Інтернету речей він вважав кращою фразою Інтернет для речей.

В умовах сьогодення у світі зростає кількість «підключених» пристроїв, збільшується і кількість прикладів застосування Інтернету речей в економіці, енергетиці, промисловості, житлово-комунальному господарстві, сільському господарстві, транспорті, охороні здоров'я.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Формування сучасного світу інноваційної техніки висвітлено на сторінках праць багатьох вчених.

К.Я. Бортник, О.В. Ольшевський і В.Ю. Пащук [1] детально розкрили питання впливу Інтернету речей на сучасне життя людини. Автори пояснюють, що таке Інтернет речей, якими є принципи його функціонування та висувають припущення стосовно подальшого розвитку цієї концепції.

Інтернетизацію та глобальну інституціоналізацію економічних систем дослідили О.В. Журавльов та О.А. Сімасов [2]. У їхній роботі показано, що безперервна трансформація в сучасному глобальному світі пов'язана з глобальними процесами і тими викликами, які стоять перед людством у XXI столітті. Обґрунтовано, що Індустрія 4.0 (четверта промислова революція) поступово входить в економічний світ, що свідчить про конвергенцію в напрямі розумного навколишнього середовища, де всі об'єкти будуть постійно пов'язані мережею. Ними ж запропоновано розширення концепції глобалізації до інтернетизації.

В.В. Коваль і В.А. Замлинський [3] наголошують, що розвиток ринку послуг Інтернету речей змінить основи конкуренції, що зумовить зміну бізнес-моделей суб'єктів телекомунікацій, які в умовах функціонування економіки України потребують подальшої інтенсифікації розгортання мереж наступного покоління, підтримки підключень населення до мереж Інтернету. Тому доцільним є вироблення державної політики щодо розвитку ринку послуг Інтернету речей, оскільки додатки IoT повинні бути схвалені регуляторними органами.

Огляд сучасних технологічних проєктів і нових перспектив (від інтернету людей до інтернету речей) здійснив В. Рябошлик [4]. О.І. Смолин, В.П. Олексюк [5] дослідити Інтернет речей як технологічний феномен. Автори детально описали поняття «хмари» у сфері Інтернету речей, принципи формування бази даних і вплив датчиків у загальній системі.

Стосовно окремих областей застосування, то варто згадати праці Г.В. Антонова, А.В. Кедич, О.В. Ковирьова (землеробство) [6], О.А. Баранова (охорона здоров'я, сільське господарство, транспорт) [7; 8; 9], А.П. Гненного, Ю.Г. Гордієнко (промислове підприємство) [10], З. Дідича (сільське господарство) [11], В.І. Журавель, Т.Ю. Ткачука, Д.С. Борковського (медична сфера) [12], К. Коцюбівської, В. Прісич, О. Яворського (Розумне місто) [13] та інших.

Незважаючи на масштабність наукових досягнень за темою дослідження, питання структуризації та формування принципів застосування технології Інтернету речей у сучасному світі техніки залишається повністю не вивченим і потребує детального опрацювання.

Постановка завдання. У рамках цієї статті метою є дослідження принципів застосування технології Інтернету речей в сучасному світі техніки. У роботі необхідно виконати низку завдань:

- навести архітектуру Інтернету речей;
- дослідити області застосування Інтернету речей;
- визначити принципи застосування технології Інтернет речей.

Виклад основного матеріалу дослідження. Архітектура IoT складається з чотирьох функціональних рівнів (рис. 1). Найнижчий рівень (рівень сенсорів і сенсорних пристроїв) складається з об'єктів, інтегрованих із сенсорами (датчиками), які забезпечують збір і обробку інформації в реальному масштабі часу. Наступний рівень (шлюзів і мереж) складається з конвергентної мережевої інфраструктури, яка створюється шляхом інтеграції різнорідних мереж у єдину мережеву платформу. Сервісний рівень містить певний набір послуг, які автоматизують низку технологічних і господарських операцій. Четвертий рівень архітектури IoT включає різні типи додатків для відповідних промислових секторів і сфер діяльності [5].



Рис. 1. Архітектура Інтернету речей
* власна розробка автора на основі [5]

Варто зауважити, що M2M (міжмашинна взаємодія) давно використовується в різних галузях економіки. Ця технологія є надійним способом збору даних, однак на стадії прийняття рішень вимагає обов'язкової участі людини. Відмінність Інтернету речей полягає саме в автоматизації рутинних дій, заснованих на аналізі даних.

Інтернет речей можна визначити як інформаційно-технологічну концепцію побудови інформаційних і комунікаційних інфраструктур на основі обчислювальної мережі, яка з'єднує речі (фізичні об'єкти), оснащені інформаційними технологіями для здійснення комунікаційного обміну один з одним і глобальною інформаційно-комунікаційною інфраструктурою або безпосередньо, або через інтегровані з ними інші пристрої, які мають адресу протоколу Інтернет (IP) без участі людини з метою збору, передачі, накопичення та обробки інформації.

Застосування IoT в енергетиці дозволить в якомусь сенсі перетворити електроенергетику. На зміну ієрархічній системі «виробництво – передача – збут», у якій всі процедури жорстко визначені регламентами, а узгодженість досягається за рахунок державного регулювання, учасники дізнаються про дії один одного з новин, прийде гнучка система продуктивної взаємодії в режимі реального часу. Кожен елемент системи буде «бачити» інші елементи, розуміти їх можливості і потреби і використовувати свій потенціал найкращим чином.

Така зміна дозволить вийти на принципово новий рівень надійності і ефективності в роботі енергетичної системи. Ключовими сферами у всіх елементах електроенергетики, на які вплине впровадження IoT, є:

– технології, в тому числі підвищиться їх надійність;

– економічність, в тому числі скоротяться витрати;

– поява нових ринків, створення нових властивостей і бізнесів.

У сфері охорони здоров'я технології IoT допомагають підвищити ефективність роботи медичних установ, скоротити час перебування в стаціонарі, надати пацієнтам нові сервіси для контролю за станом здоров'я, збирати і аналізувати додаткову інформацію про хід лікування. Так, дистанційний моніторинг здоров'я допомагає знизити витрати за рахунок оперативного контролю медичних показників і спростити взаємодію між лікарями і пацієнтами.

Області застосування IoT у сфері охорони здоров'я наведено на рис. 3.

Пристрої IoT також беруть участь у вирішенні низки управлінських, адміністративних і логістичних завдань: моніторинг і управління людськими ресурсами, віддалена діагностика медичного обладнання, локальне позиціонування персоналу, пацієнтів і переносних пристроїв, управління запасами медикаментів і витратних матеріалів.

«Розумне сільське господарство» ставить перед собою мету максимально автоматизувати сільськогосподарську діяльність, підвищити урожайність і якість продукції. Точне землеробство (GPS-датчики, дрони) – це широкий спектр технологій від планування посіву і підготовки ґрунту, моніторингу стану та управління посівом, контролю рівня вологості, мінералізації ґрунту і температурного режиму до збору врожаю. При використанні «розумних теплиць» (датчики, пристрої та комплектуючі, ПЗ для віддаленого управління теплицями) операційна економія досягається шляхом більш ефективної витрати добрив, хімікатів і води.

Ця технологія дозволяє оптимізувати кількість персоналу, який потрібен для догляду за культурами, і знизити втрати, що виникають через людський фактор. «Розумні ферми» (датчики, пристрої і ПЗ для моніторингу) дозволяють підвищити продуктивність тварин і якість продукції. За оцінкою експертів ринку, автоматизовані системи відгодівлі, доїння і моніторингу здоров'я поголів'я худоби можуть підвищити надої на 30-40%.

Послуги, які викликають потенційний інтерес в контексті «розумного міста»: моніторинг

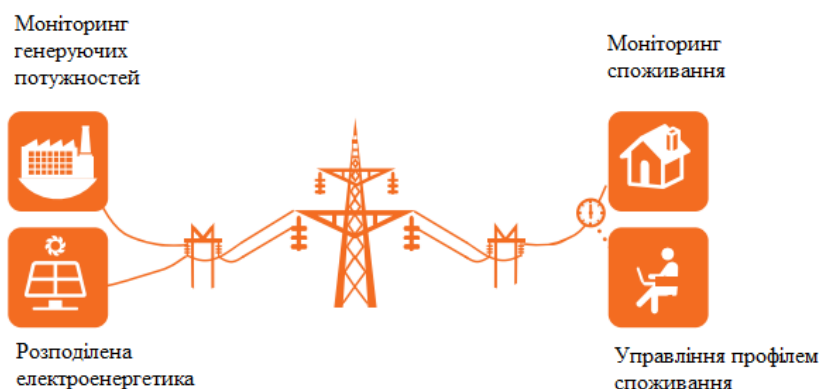


Рис. 2. Області застосування IoT в електроенергетиці
* власна розробка автора на основі [5; 14]

стану будівель; управління відходами; контроль якості повітря; моніторинг шуму; перевантаження автотранспорту; міське енергоспоживання; розумна парковка; розумне освітлення; моніторинг параметрів навколишнього середовища.

Моніторинг стану будівель. Належне обслуговування будівель міста вимагає постійного моніторингу їх фактичного стану і виявлення районів, найбільш схильних до впливу зовнішніх факторів. Міський IoT може надати розподілену базу даних вимірювань цілісності конструкції будівлі, зібрану відповідними датчиками, розташованими в будівлях, такими як датчик вібрації і деформації, датчики контролю рівня забруднення, а також датчики температури і вологості повітря, для отримання повної характеристики умов навколишнього середовища [4]. Ця база даних дозволить проводити цілеспрямовані і випереджальні дії по обслуговуванню і ремонту будівель. Базу даних можна зробити загальнодоступною, щоб городяни знали про роботи, які проводяться по збереженню історичної спадщини міста.

Управління відходами. Управління відходами є основною проблемою у багатьох сучасних містах, що зумовлено як вартістю послуг, так і проблемою зберігання сміття на звалищах. Застосування IoT технологій у цій галузі може призвести до економічних і екологічних переваг. Для реалізації служби управління відходами на базі IoT потрібно підключення «розумних сміттєвих контейнерів» до центру управління колекторно-вантажного автопарку.

Контроль якості повітря. Міський IoT може забезпечити контроль якості повітря в місцях роботи і відпочинку людей, а також у парках або на трасах. Реалізація такої послуги вимагає, щоб по всьому місту були встановлені датчики вимірювання якості повітря з доступністю результатів вимірювань для громадськості, наприклад на карті міста через відповідну програму.

Моніторинг шуму. Шум можна розглядати як форму акустичного забруднення. IoT може запропонувати послугу моніторингу шуму для вимірювання кількості шуму. Крім побудови просторово-часової карти шумового забруднення в цьому районі, така служба може також використовуватися для забезпечення громадської безпеки за допомогою алгоритмів виявлення звуку, які можуть розпізнавати, наприклад, шуми, які виникають при дорожньо-транспортних пригодах або конфліктних зіткненнях.

Перевантаження автотранспорту. Незважаючи на те, що системи моніторингу трафіку на основі камер вже доступні і розгорнуті в багатьох містах, рішення на базі IoT дозволять забезпечити більш щільний потік джерел інформації. Моніторинг дорожнього руху може бути реалізований за допомогою сенсорів і GPS, встановлених на сучасних автомобілях.



Рис. 3. Области застосування IoT у сфері охорони здоров'я
* власна розробка автора на основі [7; 12]

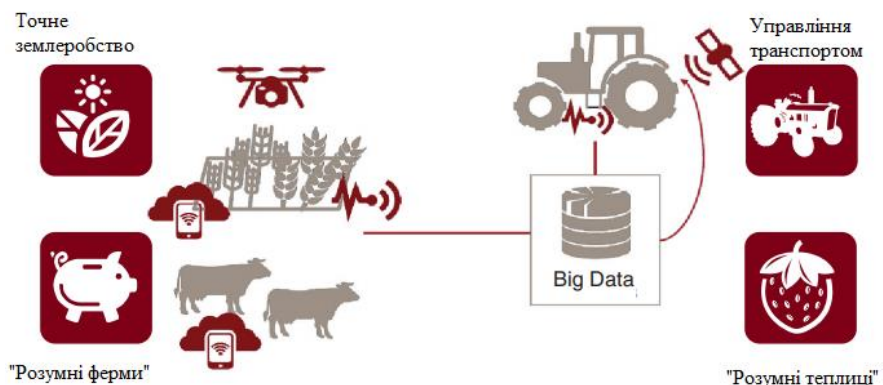


Рис. 4. Области застосування IoT у сфері сільського господарства
* власна розробка автора на основі [8; 11]



Рис. 5. Области застосування IoT у транспортуванні і зберіганні вантажів

* власна розробка автора на основі [9]

Міське енергоспоживання. Міський IoT може надати послугу для моніторингу енергоспоживання всього міста, що дозволяє міській владі отримати повне уявлення про кількість енергії, необхідної для різних послуг (освітлення вулиць, транспорту, камер управління, обігріву / охолодження громадських будівель) [14]. Така послуга дозволить ідентифікувати основні джерела енергоспоживання, встановити пріоритети і оптимізувати їхню роботу. Для забезпечення цієї послуги пристрої моніторингу енергоспоживання повинні бути інтегровані з енергосистемою міста.

Розумне паркування. Послуга інтелектуального паркування заснована на дорожніх датчиках і інтелектуальних дисплеях, які направляють автомобілістів по кращій дорозі для паркування в місті. Переваги, одержані від цієї послуги, різні: більш швидке визначення місця для паркування означає зменшення обсягу викидів вуглекислого газу від автомобіля, меншу завантаженість доріг і більше щасливих громадян. Послуга інтелектуального паркування може бути безпосередньо інтегрована в міську інфраструктуру IoT. Крім того, викорис-

товуючи технології зв'язку малого радіусу дії, такі як радіочастотні ідентифікатори [13] або зв'язок ближнього поля, можна реалізувати електронну систему верифікації паркувальних місць, зарезервовану для машин швидкої допомоги, поліції, які можуть на законних підставах використовувати паркувальні місця.

Розумне освітлення. Оптимізація ефективності вуличного освітлення є важливим завданням. Зокрема, цей сервіс може оптимізувати інтенсивність освітлення вуличного ліхтаря залежно від часу доби, погодних умов і присутності людей. Для реалізації такого сервісу необхідно включити вуличні ліхтарі в інфраструктуру «розумного міста».

Моніторинг параметрів навколишнього середовища. Іншим важливим застосуванням технологій IoT є моніторинг параметрів навколишнього середовища у громадських будівлях (школах, музеях, офісах та інших установах) за допомогою різних типів датчиків і виконавчих механізмів, які керують освітленням, температурою і вологістю повітря. Контролюючи ці параметри, можна підвищити рівень комфорту людей.

Застосування IoT у сфері логістики є одним із пріоритетних напрямів у вирішенні питання скорочення витрат і затримки вантажів у дорозі, підвищення прозорості операцій і мінімізації участі людини у цих процесах.

Рішення та технології для підключення транспорту до мережі вже широко доступні по всій території України. Відстеження геопозицій і стану перевезених вантажів, моніторинг транспортної інфраструктури – перспективні напрями розвитку, які мають значний потенціал до зростання. Окрім технологій IoT, такі як автономний транспорт і роботизовані склади, поки не знайшли застосування в Україні, однак у середньостроковій перспективі їх впровадження неминуче.

Висновки. Застосування технологій IoT змінить вигляд багатьох індустрій і областей життєдіяльності як з урахуванням економічного складника, так і з точки зору споживчого досвіду. У низці областей людські трудовитрати і помилки будуть зведені до мінімуму.

Так, IoT в електроенергетиці кардинально змінить технології, забезпечить економію коштів і створить нові продукти у всіх ланках енергосистеми. У сільському господарстві IoT дозволить впровадити точне землеробство і значно вдосконалити управління транспортом. Рішення IoT у логістиці допоможуть скоротити витрати, підвищити прозорість ланцюжка доставки товарів

і скоротити використання людської праці. Технології «Розумного міста» дозволять створити більш привабливу міську мережу з ефективно працюючою транспортною системою, ЖКГ, зручною інфраструктурою і забезпечать безпеку населення.

Серед компонентів «Розумного будинку» найбільшою популярністю у споживачів користуються пристрої підвищення безпеки, контролю споживання води і енергії, «розумні» побутові прилади і термостати.

Список літератури:

1. Бортник К.Я., Ольшевський О.В., Пашук В.Ю. Інтернет речей та як він змінить наше життя у майбутньому. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, вир-во. 2018. № 30/31. С. 14–18.
2. Журавльов О.В., Сімасов О.А. Інтернетизація та глобальна інституціоналізація економічних систем. Статистика України. 2017. № 4. С. 39–46.
3. Коваль В.В., Замлинський В.А. Ринок послуг Інтернету речей (IoT): сучасний стан та обмеження розвитку. Трансформація економіки та права в умовах системних реформ України : зб. наук. пр. за матеріалами всеукр. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 27 жовтня 2017 року) / МОН України, Одес. торг.-екон. ін-т [та ін.]; редкол.: Квач Я.П. [та ін.]. Одеса, 2017. С. 35–37.
4. Рябошлик В. Огляд сучасних технологічних проривів і нових перспектив (від інтернету людей до інтернету речей). Економіст. 2017. № 6. С. 17–22.
5. Смолин О.І., Олексюк В.П. Інтернет речей як технологічний феномен ХХІ століття. Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання: досвід, тенденції, перспективи : матеріали ІV міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Тернопіль, 30 квітня 2020 року). Тернопіль, 2020. С. 147–149.
6. Антонова Г.В., Кедич А.В., Ковирьова О.В. Інтернет речей та бездротові смарт-мережі в точному землеробстві. Комп'ютерні засоби, мережі та системи. 2019. № 18. С. 119–127.
7. Баранов О.А. Інтернет речей і охорона здоров'я. Інтернет речей: теоретико-методологічні основи правового регулювання : монографія. 2-ге вид. Харків, 2018. Т. 1: Сфери застосування, ризики і бар'єри, проблеми правового регулювання. С. 24–36.
8. Баранов О.А. Інтернет речей і сільське господарство. Інтернет речей: теоретико-методологічні основи правового регулювання : монографія. 2-ге вид. Харків, 2018. Т. 1: Сфери застосування, ризики і бар'єри, проблеми правового регулювання. С. 65–71.
9. Баранов О.А. Інтернет речей і транспорт. Інтернет речей: теоретико-методологічні основи правового регулювання : монографія. 2-ге вид. Харків, 2018. Т. 1. С. 92–96.
10. Гненний А.П., Гордієнко Ю.Г. Інтернет речей як головний чинник впровадження ІТ-технологій на сучасному підприємстві. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технол. процесах. 2018. № 1. С. 94–98.
11. Дідич З. «Інтернет речей»: можливості та перспективи його використання у сільському господарстві України. Аграрна економіка. 2018. Т. 11, № 1/2. С. 88–93.
12. Журавель В.І., Ткачук Т.Ю., Борковський Д.С. Інтернет речей у системі медичної допомоги: можливості та безпека. Актуальні проблеми клініч. та профілакт. медицини. 2019. Т. 3, № 1/2. С. 5–12.
13. Коцюбівська К., Прісич В., Яворський О. Впровадження технологій інтернету речей під час створення системи «Розумний дім». Цифрова платформа. Інформаційні технології в соціокультурній сфері. 2019. Т. 2, № 2. С. 136–143.
14. Журавська І.М. IoT-мережа на базі Bluetooth-модулів для автоматизованого керування споживанням енергоресурсів. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, вир-во. 2018. № 30/31. С. 37–44.

Samoilenko M.Yu. PRINCIPLES OF APPLICATION OF THE INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY IN THE MODERN WORLD OF TECHICAL DEVICES

The article reveals the principles of application of the Internet of Things technology in the modern world of technical devices. The author presents the architecture of the Internet of Things, which consists of four interconnected levels. The machine-to-machine technology, M2M is revealed, which has long been used in various sectors of the economy. This technology is a reliable way of collecting data, but at the decision-making stage requires mandatory human participation.

The Internet of Things differs by the automation of routine actions based on data analysis. It is emphasized that the Internet of Things can be defined as an information technology concept of building information and communication infrastructures based on a computer network connecting things (physical objects), equipped with information technology for communication with each other and global information and communication infrastructure directly, or through other devices integrated with them, having an Internet Protocol (IP) address without human intervention, for the purpose of collecting, transmitting, accumulating and processing information.

The articles provides principles of using the Internet of Things in the energy sector, in the field of health care. Peculiarities of automation of agricultural activity are determined, the sphere of influence of the Internet of Things on agriculture is substantiated: precision agriculture, agricultural transport control, “smart farms”, “smart greenhouses”. The scope of the Internet of Things during the monitoring of buildings and air quality control is outlined. The principles of using the Internet of Things in the field of logistics are indicated. It is emphasized that the Internet of Things is one of the main priority areas to address the issue of reducing costs and delays of cargo in transit, increased transparency of operations, and minimization of man participation in processes.

Key words: *Internet of Things, scope, technology, intelligent sensors, automation, architecture.*

УДК 62-533.66
DOI

Федь Т.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Батюк С.Г.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК ПРОМИСЛОВОЇ ЛОГІСТИКИ НА ОСНОВІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ SIMIO

У роботі розглянуто принципи імітаційного моделювання порційного виробництва в симуляторі Simio на прикладі ділянки методичних печей прокатного стану. У статті описані поняття, інструменти та методи, необхідні для запровадження імітаційної моделі автоматизованого технологічного комплексу виробничої логістики на ділянці методичних печей прокатного стану. Визначені поняття моделі, імітаційного моделювання, принципу логістики. Детально розглянуто об'єкт дослідження – ділянку методичних печей прокатного стану. Описано принцип роботи та порядок проходження слябів у печі. Для цього об'єкту створюються імітаційна модель, для реалізації у програмі Simio процесу виробництва відбувається нагрівання металу у неперервному прокатному виробництві на прикладі ділянки методичних печей.

Описаний програмний комплекс для імітаційного моделювання Simio, розглянуто базову функціональність і створено початкову спрощену модель. Продемонстровано набір базових елементів Simio для побудови моделей з описом їхніх властивостей і функцій. Показано вбудовані можливості Simio, які здатні реалізовувати складні технічні завдання у промисловому виробництві. Розглянуто механізми задання розкладу, планування та прогнозування. Описано планування для моделі промислового об'єкту, яке враховує його початковий стан і набір запланованих кроків, проходження яких забезпечить отримання кінцевого продукту.

Показано вигляд діаграми Ганта, яка використовується для відображення планових процесів. Описано стандартний пакет RPS (планування на основі ризиків і розклад), який дозволяє реалізовувати гнучкі стратегії планування та реагувати на зміни виробництва в режимі реального часу. Результати імітаційного моделювання можуть бути використані як у навчальному процесі, так і в техніко-робочому проектуванні систем автоматизації.

Ключові слова: імітаційне моделювання, симулятор Simio, промислова логістика, методична піч, прокатний стан.

Постановка проблеми. Актуальність застосування імітаційного моделювання полягає у складності роботи з реальним об'єктом. Часто дослідження над реальним об'єктом є дорогими і/або неможливими, а також може мати велику тривалість проведення. Варто зазначити, що імітаційне моделювання може застосовуватися тоді, коли не можливо з тих чи інших причин використовувати аналітичні моделі. Експеримент з моделлю дозволяє, задаючи різні початкові параметри моделі, отримувати і аналізувати різні результати її виконання, а тому можна спростити задачу прийняття рішення по управлінню об'єктом. Саме через це моделювання у промисловості застосовується все частіше.

Зростання та розвиток автоматизації технологічних процесів дозволяє використовувати потужні програмні продукти з великим набором

математичних інструментів, зокрема для імітаційного моделювання. Це відкриває нові можливості для підвищення ефективності виробництва, покращення якості готової продукції, економії сировини та матеріалів, аналізу та оптимізації робочих процесів. Актуальною є задача імітаційного моделювання автоматизованого технологічного комплексу (далі – АТК), який включає технологічний об'єкт управління (далі – ТОУ) та автоматизовану систему управління технологічними процесами (далі – АСУТП).

Постановка завдання. Метою статті є розробити імітаційну модель автоматизованого технологічного комплексу АТК промислової логістики в симуляторі Simio, яка може бути використана як у навчальному процесі, так і в техніко-робочому проектуванні систем автоматизації. Такий симулятор використовується для здійснення

імітаційного моделювання дискретних процесів і періодичних виробництв, у агентному моделюванні. Автоматизований виробничий комплекс (далі – АВК) ділянки методичних печей прокатного стану включає АТК методичних печей (по кількості печей на ділянці) і одну АТК виробничої логістики (транспортна система + АСУ переміщенням слябів).

Виробнича логістика – переміщення партій слябів на ділянці між печами, завантаження партій слябів у піч і вивантаження партій слябів із печі на прокатний стан згідно з розкладом, який залежить від прогнозованого темпу роботи прокатного стану. Додатковою функціональністю АТК виробничої логістики є завантаження рецептів (формул) температурного режиму печі (задані температури в зонах печі по довжині печі) в ПЛК АСУ ТП печей для відповідних партій слябів. Партія слябів містить однакові сляби з однаковими геометричними і фізико-хімічними характеристиками. Модель АТК виробничої логістики імітує змінний темп роботи прокатного стану, змінний розклад логістики слябів, реалізацію відповідної логістики слябів і завантаження відповідних рецептів для партій слябів у відповідних печах.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Модель – це спрощений аналог реального об'єкту чи явища, який представляє поведінку вхідних частин і їх взаємозв'язки. Під імітаційною моделлю розуміють спеціалізований комплекс програмних засобів, який дає змогу імітувати роботу будь-якого складного процесу. Завданням імітаційного моделювання є побудова простих моделей складних реальних систем.

Імітаційне моделювання можна використовувати при прийнятті рішень на стадіях проектування та аналізу виробничих систем (конвеєрних ліній, складських приміщень), транспортних систем, різних організацій, які надають сервіси масового обслуговування. Імітаційне моделювання – ефективний засіб дослідження і проектування складних систем.

Об'єктом дослідження є модель АТК виробничої логістики на ділянці методичних печей прокатного стану. Модель формує рецепти для партій слябів до відповідної печі. Рецепти включають формули – задані значення температур по зонах печі. Методичні печі використовуються для нагріву металу у неперервному прокатному виробництві. За принципом дії методична піч є неперервною піччю, хоча посадка в неї партій слябів відбувається дискретно через визначені проміжки часу. Основним завданням є отримання металу із

заданою температурою поверхні і допустимим за умовами прокатки перепадом температур по перерізу. Завданням управління процесом нагріву є вироблення такого температурного режиму печі, щоб весь час отримувати задану якість нагріву в умовах змінної продуктивності агрегату з урахуванням інших збурень.

Загальна схема методичної печі з нагріванням металу з однієї сторони показана на рис. 1.

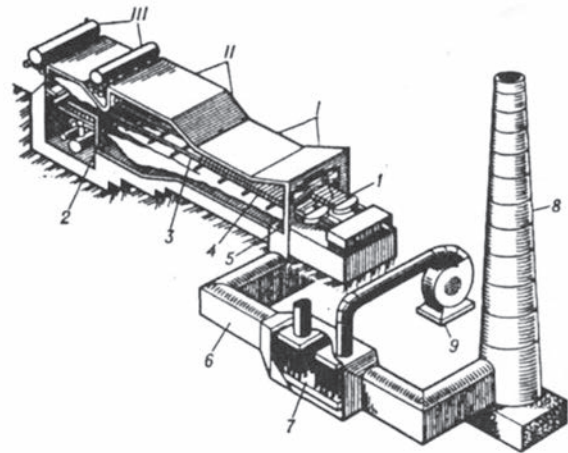


Рис. 1. Загальна схема методичної печі

3-зонна методична піч за конструкцією поділяється на три зони:

- I – методична;
- II – зварювальна;
- III – томильна зона.

Загальний вигляд 3-зонної методичної печі: 1 – штовхач; 2 – пальник; 3 – охолоджувальні труби; 4 – місце, де нагріваються заготовки; 5 – вертикальний канал для відведення продуктів згоряння (димопад); 6 – горизонтальний димар для відведення газів; 7 – рекуператор; 8 – димова труба; 9 – повітряний вентилятор.

Імітаційне середовище Simio. Середовище Simio Simulation застосовується для моделювання в різних сферах діяльності. Особливістю системи є вбудовані інтелектуальні об'єкти, які можна використовувати при побудові моделі, а також можливість створення тривимірних моделей. Simio забезпечує об'єктно-орієнтоване середовище 3D-моделювання, яке дозволяє побудувати об'ємну модель з двовимірного представлення, а потім переключитися на тривимірний вигляд системи. Усі продукти моделювання програми Simio безпосередньо інтегруються з Google Warehouse. Для реалістичного відображення виконаних моделей можна завантажувати з масивної бібліотеки готові 3D-об'єкти.

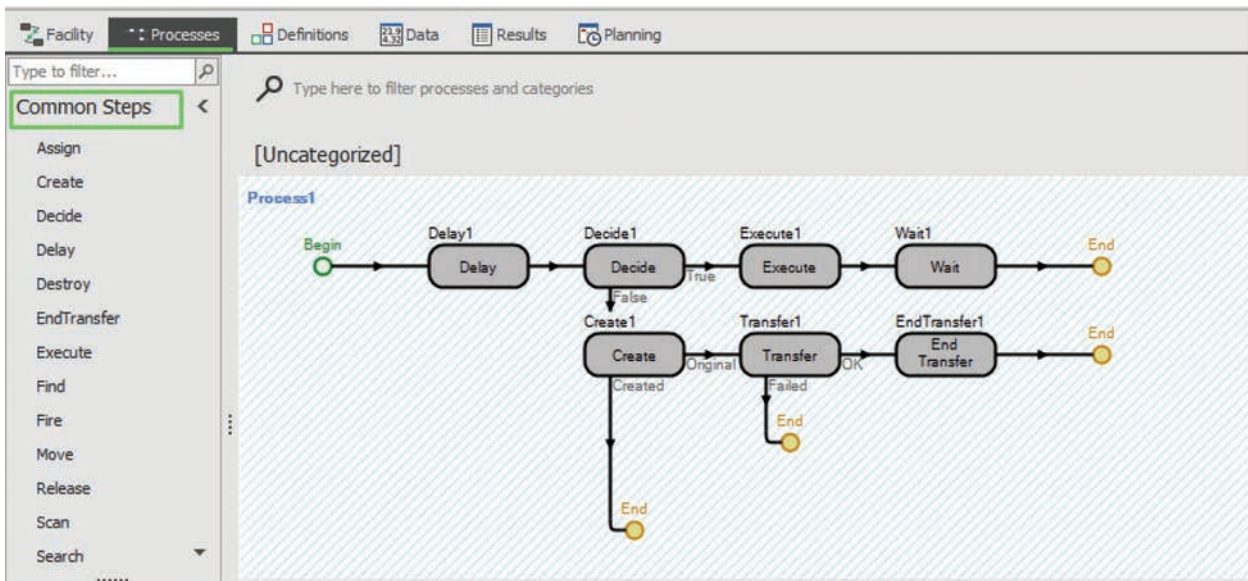


Рис. 2. Схема процесу

Моделювання в середовищі Simio починається з використання базових об'єктів – це основа для подальшої побудови об'єктів вищого рівня. Базовий об'єкт у Simio – це фіксований об'єкт, агент, сутність, ланка, вузол або транспортер, які мають власну логіку. Процеси надають об'єкту інтелект, визначаючи логіку, яка виконується у вигляді відповіді на події.

Кожен процес – це послідовність кроків, яка запускається подією і виконується токеном. Токен виконується на початку процесу і є простим потоком виконання (подібно до сутностей). Токен може мати певні властивості (вхідні параметри) і стани (змінні значення у процесі виконання), які контролюють виконання кроків процесу. Користувач має змогу визначити власні класи токенів, які мають різні комбінації властивостей і станів.

Потужний механізм моделювання Simio забезпечується набором подій, які автоматично запускаються для шести базових класів об'єктів разом із кроками процесу, доступними для моделювання змін стану, що є реакцією на ці події. Побудова інтелектуальних об'єктів передбачає вивчення подій і колекцію доступних кроків процесу, а також знання того, як об'єднати ці кроки для реалізації складної логіки.

За допомогою набору стандартних елементів створюються складні логічні схеми. Вигляд схеми процесу показаний на рис. 2.

У Simio використовуються класи інтелектуальних об'єктів (Intelligent Object):

1. Fixed (фіксований об'єкт) – має єдине нерухоме місце в системі, наприклад машина.

2. Link (посилання) – надає шлях, по якому можуть проходити об'єкти.

3. Node (вузол) – визначає перетин між одним або кількома вхідними / вихідними посиланнями. Вузли також можуть бути пов'язаними з нерухомими об'єктами, щоб забезпечити точки входу та виходу для об'єкта.

4. Entity (сутність) – визначає динамічний об'єкт, який можна створити та знищити, переміщати по мережі посилань і вузлів, вводити / виводити фіксовані об'єкти через пов'язані з ними вузли.

5. Transporter (транспортер) – визначає особливий тип сутності, який також може приймати та віддавати інші об'єкти у вузлах.

Вказані типи визначають загальну, але не конкретну поведінку об'єкта. Конкретна поведінка об'єкта визначається внутрішньою моделлю цього об'єкта. Наприклад, у нас може бути бібліотека з півтисячі різних типів транспортерів, кожен із яких має власну поведінку, яку визначено їх власними моделями. Однак усі вони мають базову здатність пересуватися по мережі посилань і вузлів [2, с. 58].

Стандартна бібліотека Simio містить 15 об'єктів, які є основою для більшості моделей. Усі об'єкти розташовані на головному вікні у вкладці Facility.

Розглянемо спрощену модель – ділянку методичних печей прокатного стану металургійного заводу. Методичні печі використовуються для нагріву металу у неперервному прокатному виробництві. За принципом дії методична піч

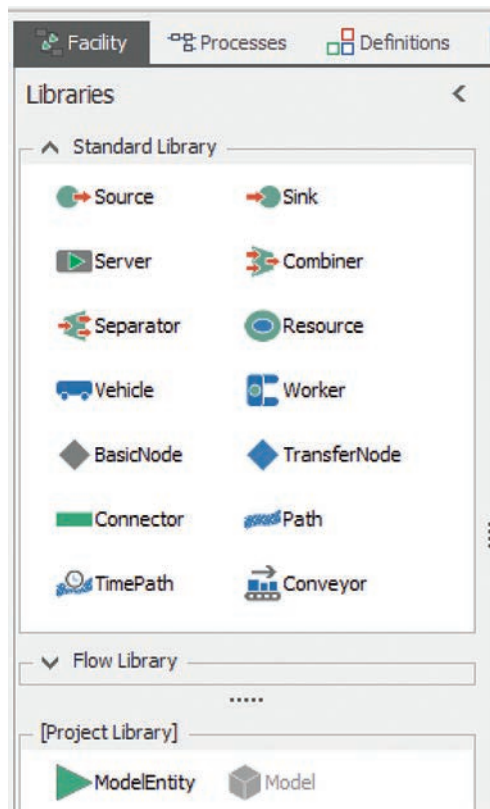


Рис. 3. Вкладка Facility на головному екрані

є неперервною пічкою, хоча посадка в неї партій слябів відбувається дискретно через визначені проміжки часу [3, с. 12]. За допомогою стандарт-

них об'єктів Simio реалізуємо неперервний процес проходження металу.

Використано такі типи стандартних об'єктів: Model Entity, Source, Server, Sink, Path.

Model Entity (Metal_ingot) – металічний сляб, який проходить через систему.

Source1 – початкова точка, в яку завантажуються сляби.

Server1 – пункт розподілення слябів між системою методичних печей.

Server(2-4) – методичні печі, у яких відбувається нагрівання слябів.

Server5 – прокатний стан.

Sink – кінцева точка, місце збору готової продукції.

Path – шлях, маршрут проходження слябів.

За рахунок накладання шаблонів різних моделей на стандартні об'єкти отримуємо реалістичну візуалізацію виробничої ділянки. Перейдемо до 3D режиму та запустимо процес на виконання. Бачимо, що матеріал проходить системою по наперед заданому маршруту.

Розклад і планування. Основним підходом при плануванні на основі моделювання є запуск моделі промислового об'єкту з урахуванням його початкового стану та набору запланованих кроків, які потрібні для отримання кінцевого продукту. Правила прийняття рішень включені у модель для прийняття рішень, вибору ресурсів і маршруту.

Таблиця 1

Опис стандартних елементів Simio

Назва об'єкту	Опис
Source (Джерело)	Створення сутності об'єкту заданого типу
Sink (Вихідний елемент)	Знищує сутності, які завершили процес
Server (Сервер)	Є ємнісним процесом (як машина або сервісна операція)
Workstation (Робоча станція)	Моделює складну робочу станцію з фазами налаштування, обробки та вилучення
Resource (Ресурс)	Базовий об'єкт, який може бути задіяний і звільнений іншими об'єктами
Worker (Робітник)	Рухомий ресурс, який може бути задіяний і звільнений для виконання завдань, а також використовується для транспортування об'єктів між вузлами
Combiner (Комбінатор)	Об'єднує кілька об'єктів із материнською сутністю
Separator (Сепаратор)	Розбиває групу сутностей або робить копії однієї сутності
Vehicle (Транспортний засіб)	Транспортер, який може слідувати фіксованим маршрутом або виконувати виїзди на вимогу
BasicNode (Базовий вузол)	Моделює простий перетин між кількома посиланнями
TransferNode (Вузол передачі)	Моделює роздоріжжя для зміни пункту призначення та режиму подорожі
Connector (Конектор)	Просте з'єднання між двома нерухомими вузлами
Path (Шлях звичайний)	Маршрут, по якому сутності можуть самостійно рухатися зі своєю швидкістю
TimePath (Шлях часовий)	Маршрут, який має вказаний час подорожі для всіх сутностей
Conveyor (Конвеєр)	Посилання, що моделює акумулюючі / неакумулюючі конвеєрні установки
ModelEntity (Сутність моделі)*	Частина, особа чи інший об'єкт, який динамічно створюється, проходить через систему, після чого залишає її. *Оскільки сутності додатково налаштовуються, вони не є частиною стандартної бібліотеки

У процесі моделювання будується графік, імітуючи переміщення по технологічній ланці та приймаючи «розумні» рішення на основі визначених правил планування. Результати моделювання здебільшого відображаються як задачі, завантажені на інтерактивній діаграмі Ганта, якими користувач може оперувати. Існує велика кількість правил, які можна застосувати в рамках імітаційної моделі для створення різних типів графіків, орієнтованих на такі задачі як максимізація пропускної здатності, підтримка оптимального використання ресурсів, мінімізація змін або дотримання визначених правил. Конфігурація режиму роботи показана на рис. 6.

Діаграма Ганта (англ. Gantt chart, стрічкова діаграма, графік Ганта) – діаграма, яка використовується для ілюстрації плану, графіка робіт за будь-яким проектом. Вона є одним із засобів планування та управління проектами. Діаграма зображена на рис. 7.

Пакет RPS (Risk-based Planning and Scheduling – планування на основі ризиків і розклад) дозволяє реалізовувати гнучкі стратегії планування для підтримки ключових виробничих цілей і дозволяє швидко реформувати графік при виникненні незапланованих подій або нештатних ситуацій.

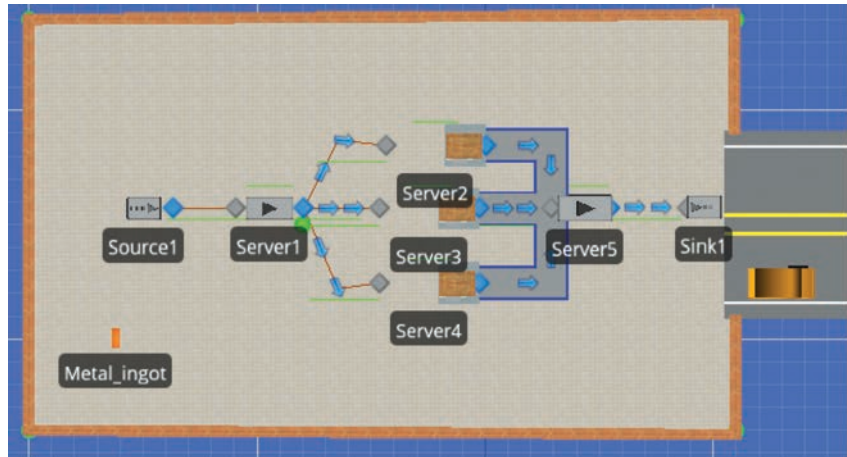


Рис. 4. 2D модель процесу

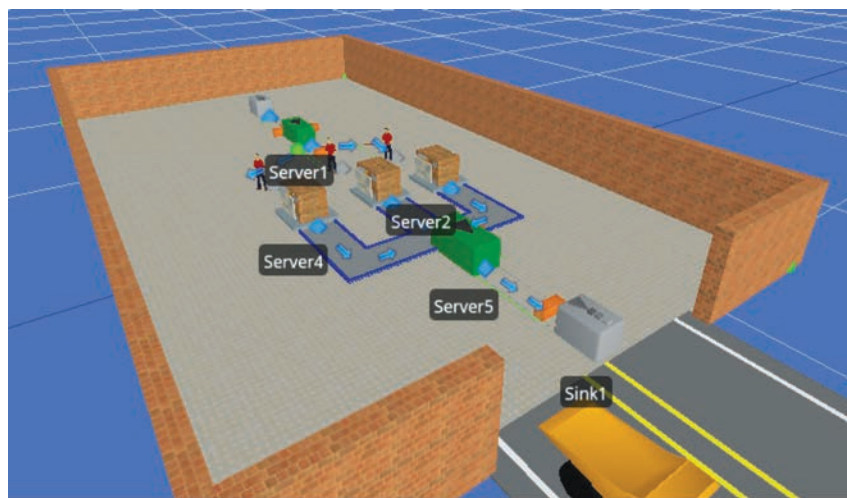


Рис. 5. 3D модель процесу

Можна відображати графіки в широкому діапазоні результатів, включаючи інтерактивні діаграми Ганта, які відображають індивідуальний час очікування на критичних ресурсах.

Продукти Simio також інтегрують 3D-анімацію запланованого графіка, щоб забезпечити попередній

Work Schedules											
Name	Start Date	Description	Days	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday	
StandardWeek	03.01.2011	Standard Work Week Schedule	7	StandardDay	StandardDay	StandardDay	StandardDay	StandardDay			

Day Patterns	
Name	Description
StandardDay	Standard 8-5 Work Day

Рис. 6. Розклад роботи

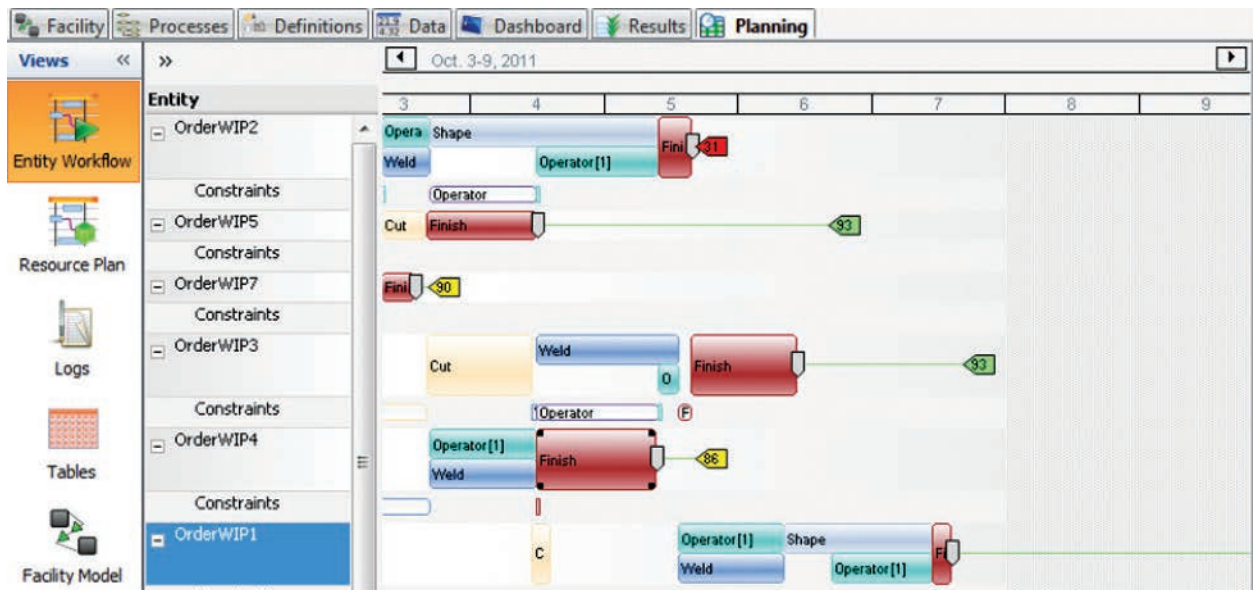


Рис. 7. Схема планування (діаграма Ганта)

перегляд роботи досліджуваного об'єкту. Рішення RPS Simio може гнучко застосовуватися для вирішення найскладніших задач в автоматизації.

Результатом імітаційного моделювання ATK виробничої логістики є робоче завдання / порційний розклад (work order / batch schedule) для MES-системи з симулятором Simio в якості генератора розкладу (scheduler). Обмін даними (рецептами) між симулятором Simio і HMI / SCADA-системою реалізується через текстовий рецептурний файл.

Висновки. Обґрунтована актуальність і ефективність імітаційного моделювання ATK логістики для проектування АСУ технологічними

процесами і АСУ виробництвом. Розроблена методика імітаційного моделювання логістики в симуляторі Simio може бути ефективно використана в навчальному процесі на кафедрах промислової автоматизації.

Описаний порядок роботи в середовищі імітаційного моделювання Simio, проаналізовані базові можливості симулятора з ілюстрацією можливих результатів. Створена спрощена модель імітаційного моделювання ATK виробничої логістики на ділянці методичних печей прокатного стану в програмі Simio, яка є придатною для промислового і навчального використання.

Список літератури:

1. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург. 2005.
2. C. Dennis Pegden, David T. Sturrock – Introduction to Simulation and Simio. USA. 2011.
3. Joines J.A., S.D. Roberts. Simulation Modeling with Simio: A Workbook. 2nd ed. Pittsburgh: Simio LLC. 2012.
4. Kelton W.D., J.S. Smith, D.T. Sturrock. Simio and Simulation: Modeling, Analysis, Applications. 2nd ed. New-York : McGraw-Hill, Inc. 2011.
5. Nygaard K and O-J Dahl. "SIMULA – An Extension of ALGOL to the Description of Discrete-Event Networks". Presented at the Second International Conference on Information Processing. 1962.
6. Тайц Н.Ю., Розенгарт Ю.И. Методические нагревательные печи. Москва : Metallurgizdat. 1964.

Fed T.I., Batiuk S.H. THE SIMULATOR OF THE AUTOMATED TECHNOLOGICAL COMPLEX OF INDUSTRIAL LOGISTICS

The article describes principles of imitation modeling of batch production in Simio simulator on the example of continuous furnaces section of rolling mill. The article describes the concepts, tools and methods necessary for the introduction of a simulation model of the automated technological complex of production logistics in the section of methodical furnaces of rolling mill. The concepts of model, simulation modeling, logistics principle are defined. The object of research – a section of methodical furnaces of a rolling mill is considered. Described the principle of operation and the order of passage of slabs in the furnace. To receive practice experience, to selected object simulation model, was create for purpose of implementation of the production

process in the Simio program – heating of metal in continuous rolling production on the example of the site of methodical furnaces.

A set of basic Simio elements for building models with a description of their properties and functions is demonstrated. Simio's built-in capabilities are shown, which are able to implement complex technical tasks in industrial production. Mechanisms for scheduling, planning and forecasting are considered. Describes the planning for the model of an industrial facility, which takes into account its initial state and a set of planned steps, the passage of which will ensure the receipt of the final product.

The view of the Gantt diagrams used to show planned processes. Was given describe of standard RPS package (risk-based planning and scheduling), which allows user or operator to implement flexible planning strategies and respond to changes in production in real time. The results of simulation can be used both in the educational process and in the technical and working design of automation systems.

Key words: *imitation modeling, batch production, Simio simulator, industrial logistics, continuous furnace, rolling mill.*

УДК 622.83
DOI

Чумаченко С.М.

Національний університет харчових технологій

Яковлев Є.О.

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України

Морш Є.В.

Департамент запобігання надзвичайним ситуаціям
Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Парталян А.С.

Управління екологічної безпеки та протимінної діяльності Міністерства оборони України

Гуйда О.Г.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕКОНОМІЧНОЇ ШКОДИ ВІД НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І МЕТОДУ СИСТЕМНОЇ ДИНАМІКИ

Актуальність задач, пов'язаних із ідентифікацією та оцінкою природно-техногенних загроз і ризиків, визначенням і прогнозуванням економічної шкоди та соціо-еколого-економічних збитків від надзвичайних ситуацій, зумовлює необхідність розробки підходів до імітаційного моделювання цієї сфери. Особливо це стало актуальним у наш час, коли на Донбасі ведеться неоголошена гібридна війна. Значна частина капітальних фондів хімічно небезпечних виробництв зношена, а це своєю чергою підвищує ризики виникнення на них надзвичайних ситуацій техногенного та військового походження внаслідок ураження їх артилерійськими боєприпасами. Для прогнозування можливих наслідків таких надзвичайних ситуацій використовуються аналітичні підходи й експертні підходи та математичне й імітаційне моделювання небезпечних природно-техногенних процесів. У роботі на основі застосування системного підходу та макроекономічних моделей, що побудовані на основі системи національних рахунків, наведено приклад сумісного застосування геоінформаційних технологій і методу системної динаміки для створення комп'ютерної моделі для оцінки економічної шкоди від надзвичайних ситуацій техногенного походження. Вхідними даними для розрахунку зазначених величин є просторові координати джерела викиду отруйної речовини (СДОР), вид СДОР, обсяг викиду СДОР (тонн), метеоумови на час викиду, топографічні особливості зони забруднення, геометричні характеристики, кількість населення в міських і сільських поселеннях. Загалом вихідна макроекономічна модель складається з агрегованої пропозиції, що включає 3 регресійних рівняння і 2 тотожності, блоку агрегованого попиту – 4 регресійних рівняння і 11 тотожностей, блоку зовнішньої торгівлі – відповідно 4 і 8 рівнянь та блоку дезагрегації змінних – 24 регресійні рівняння і 32 тотожності. В подальшому з цієї моделі, використовуючи метод системної динаміки, в середовищі симуляції Vensim PLE розроблюється комп'ютерна модель, що дозволяє провести імітаційне моделювання можливої економічної шкоди та соціо-еколого-економічного збитку у разі виникнення надзвичайних ситуацій регіонального масштабу.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, економічна шкода, імітаційна модель, соціо-еколого-економічні збитки, геоінформаційні технології, метод системної динаміки.

Постановка проблеми. За оцінками експертів провідних аналітичних центрів (World Economic Forum) [1], країни світу входять у довготривалу

стадію посилення нестабільності розвитку у глобальному масштабі. Посилення нестабільності зумовлене не лише соціально-економічними при-

чинами та пандемією коронавірусної хвороби COVID-19, але й наближенням фазового перехідного періоду формування нового технологічного укладу та зміни техніко-економічної парадигми розвитку (від інформаційно-комунікаційних до «нано-, біо- і когно» технологій) [2]. Воно також зумовлене наростанням глобальних кліматичних змін, що призводить до зростання частоти природних катастроф, та загостренням екологічних проблем у зв'язку із перевищенням асиміляційної здатності біосфери до самовідновлення (світове населення перевищило поріг демографічної ємності у 6 млрд осіб). Ці обставини зумовили негативний прогноз значного зниження рівня природно-техногенної безпеки у середньо- і довгостроковій перспективі, що значною мірою пов'язано із зростанням загрози техногенних аварій і катастроф на підприємствах підвищеної хімічної та вибухо-пожежної небезпеки (ХВПН), особливо хімічних потенційно-небезпечних об'єктах (ХПНО), які належать до об'єктів критичної інфраструктури. Більшість таких об'єктів розташована у промислово-міських агломераціях (ПМА) із високою щільністю населення та гірничо-видобувних районах (ГВР) Донбасу.

Вчасне попередження ймовірних техногенних аварій ускладнюється через критичну зношеність обладнання, недосконалість технологій, слабкість національної економіки та соціальних інститутів. Крім того, усі ПХНО у процесі взаємодії з природними життєзабезпечуючими ресурсами (атмосферою, гідросферою, біосферою, ґрунтами) формують складну природно-техногенну геосистему (ПТГС), яка відрізняється значною мінливістю параметрів функціонування. Все це збільшує актуальність задач, пов'язаних із ідентифікацією та оцінкою природно-техногенних загроз і ризиків, визначенням ймовірних сценаріїв розгортання надзвичайних ситуацій (НС) воєнно-техногенного характеру на ПХНО, моделювання економічної шкоди та соціо-еколого-економічних збитків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки до розв'язання цих задач залучаються методи ризик орієнтованого підходу до забезпечення безпеки [3], імовірнісного аналізу ризиків [4], аналізу та моделювання еколого-економічних збитків [4; 5; 6], моделювання функцій безпеки і систем [7] тощо. Водночас ці підходи і здійснені на їх основі дослідження відзначаються фрагментарністю, оскільки в них не розглядається весь комплекс чинників, що спричиняють аварії; не враховуються довготривалі тенденції розвитку цих чинників та негативних наслідків аварій; не

розробляються відповідні прогнози на регіональному (національному) та об'єктовому рівнях; різні наслідки аварій розглядаються відокремлено.

На початку 2000-х рр. колишнє МНС України замовило і почало фінансувати створення Урядової інформаційно-аналітичної системи з надзвичайних ситуацій (УІАС НС). Технічний проєкт створення цієї системи розробив Інститут проблем реєстрації інформації НАН України, а головним конструктором призначено доктора технічних наук, професора О.Г. Додонова. У складі системи для реалізації групи функцій «Аналіз і прогнозування» було розроблено програмно-моделюючий комплекс надзвичайних ситуацій (ПМК НС).

Згідно з технічним проєктом ПМК НС (2001 р.) у його складі в першу чергу передбачалося розробити функціональні комплекси задач: «Прогнозування та оцінка наслідків повеней» (ПМК «Паводок»); «Прогнозування і оцінка наслідків викиду в атмосферу небезпечних хімічних речовин» (ПМК «Хімія»); «Прогнозування та оцінка наслідків селів» (ПМК «Селі»); «Прогнозування та оцінка наслідків карстових явищ» (ПМК «Карст»). До 2004 р. ці програмні комплекси, розроблені ТОВ РІАЦ-ІНТЕК-Україна з участю УкрНДГМІ та УкрДГРІ, вже перебували в досвідній експлуатації і забезпечували просторовий аналіз зазначених типів НС у середовищі ГІС ArcGIS 8.2 (із додатками SpatialAnalyst 2.0, 3D Analyst, Network Analyst).

Причому тоді ж виявилася необхідність розширити предмет прогнозування за рахунок врахування: по-перше, НС на підприємствах ядерної промисловості та внаслідок виливу просторово-часового розповсюдження нафтопродуктів (із розробкою відповідних ПМК); по-друге – впливу небезпечних природних явищ і процесів на імовірність виникнення НС техногенного походження; оцінки імовірних негативних наслідків техногенних НС тощо.

Тому в 2004 р. у Інституті проблем національної безпеки при РНБО України було створено дослідний зразок інформаційно-аналітичної підсистеми оцінки та прогнозування ризиків життєдіяльності і господарювання на територіях підвищеної природно-антропогенної безпеки (ІАПОР) у складі ПМК НС. Серед її розробників були М.М. Биченок, М.Б. Кодацький, О.Г. Рогожин, С.П. Іванюта, Є.О. Яковлев. ІАПОР була реалізована як додаток до ПМК «Хімія» (визначав можливу зону хімічного забруднення) і остаточно передана в експлуатацію у департамент прогнозування надзвичайних ситуацій МНС в 2006 р. У складі ІАПОР функціонувало два програмні блоки: «ризики життєдіяльності» та «ризики господарювання». Перший

з них забезпечував прогнозування і аналіз ризиків загибелі чи втрати здоров'я людей від природно-техногенних небезпек, а другий – прогнозування і аналіз ризиків матеріально-фінансових втрат для господарських комплексів на територіях підвищеної природно-техногенної небезпеки.

Тим більше, що в Україні відсутня система моніторингу соціально-економічних наслідків масштабних техногенних аварій із відповідною базою даних та ГІС, не розроблені техніко-економічне обґрунтування такого моніторингу та теоретичне і методичне забезпечення процедур аналізу, прогнозування і моделювання у його складі.

Через усе це виникла потреба здійснення комплексного дослідження для системного поєднання всіх аспектів проблеми, спрямованого на розробку інформаційного інструментарію для імітаційного моделювання економічної шкоди від НС на об'єктах критичної інфраструктури, що сприятиме збільшенню рівня безпеки життєдіяльності (БЖД) населення в зоні проведення ООС.

Постановка завдання. В роботі має бути створена науково-методична основа для системного вирішення проблеми оцінки та прогнозування економічних наслідків масштабних техногенних аварій і катастроф на об'єктах критичної інфраструктури підвищеної ХВПН.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як зазначається у класичній роботі В. Маршалла [8, с. 358–359], до початку 1980-х років токсичні викиди під час аварій на ПНО не розглядалася як основна загроза для персоналу і населення. Згідно із тодішньою статистикою втрат абсолютно переважали ураження, спричинені пожежами і вибухами (особливо від об'ємних вибухів: пилових хмар; повітряно-газових хмар газоподібних вуглеводнів – метану та подібних; парових хмар летючих вуглеводнів – циклогексану та подібних). Частка втрат, пов'язаних із токсичними викидами, серед усіх промислових і транспортних аварій становила: 8% смертельних і 32% не смертельних уражень. Хоч саме аварії з викидом токсичних речовин викликали найбільший суспільний резонанс. Однак ситуація змінилася після хімічної аварії в м. Бхопал (Індія) у 1984 р.

Прискорений розвиток хімічної індустрії, що триває в азійських країнах, які модернізуються (особливо масштабний в Китаї), призвів до збільшення частоти аварій із викидом токсичних речовин та втрат від них – на фоні запровадження ефективних систем безпеки, зменшення чисельності і щільності персоналу або закриття аналогічних небезпечних підприємств у «постіндустріальних»

розвинених країнах. Це не могло не збільшити «внесок» аварій із викидом токсичних речовин у структурі світових людських втрат від промислових і транспортних аварій. На жаль, його важко оцінити кількісно через закритість китайської статистики втрат від техногенних аварій.

У зв'язку з ліквідацією МНС України, після 2011 р. департамент прогнозування НС було розформовано, а програмне забезпечення УІАС НС – втрачене. Тому, для виконання розрахунку еколого-економічних збитків від імовірних НС із викидом токсичних речовин в атмосферу, довелося в першу чергу відновити функції просторового прогнозування за методикою МНС зон можливого хімічного забруднення та прогнозованого хімічного забруднення (які у складі УІАС НС забезпечував ПМК «Хімія»).

Згідно з методикою МНС [8], визначаються (вихідний результат):

- геометричні характеристики зони можливого хімічного забруднення (утвореної за перші 4 години з часу аварії):

- глибина розповсюдження хмари забруднення (Γ , км),

- кут сектора зони можливого хімічного забруднення (град);

- площа зони можливого хімічного забруднення ($S_{\text{зххз}}$, км²);

- геометричні характеристики прогнозованої зони хімічного забруднення (контур еліпса та його осі – глибина і ширина прогнозованої зони забруднення);

- площа прогнозованої зони хімічного забруднення ($S_{\text{пххз}}$, км²);

- площа забруднених територій у цій зоні за типами: міст, сіл, лісів (км²);

- чисельність населення у зоні можливого хімічного забруднення: всього, міського, сільського (осіб).

Вхідними даними для розрахунку зазначених величин є:

- просторові координати джерела викиду отруйної речовини (СДОР);

- вид СДОР (в нашому випадку хлор або аміак);

- обсяг викиду СДОР (тонн);

- характер викиду (вільно, у піддон)

- метеоумови на час викиду:

- сезон, час, хмарність, стан атмосфери (ізотермія, інверсія, конвекція),

- температура повітря (Т°С),

- напрямок вітру (із точністю до румба 45°),

- швидкість вітру (м/сек);

- топографічні особливості зони забруднення, геометричні характеристики:
- населених пунктів, окремо міських та сільських,
- лісових масивів у напрямі поширення фронту забруднення;
- кількість населення в міських і сільських поселеннях (за переписом 2001 р.).

Результати розрахунків виводяться на екран (геометричні та числові), приклад наведено на рис. 1.

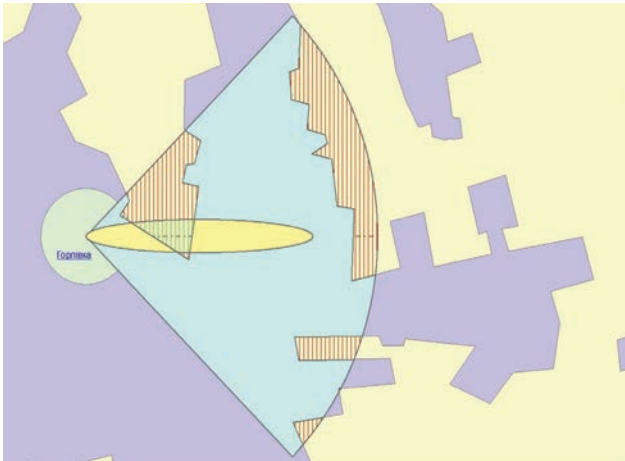


Рис. 1. Результати ГІС-прогнозування зон можливого і прогнозованого хімічного забруднення: локальний рівень (Донецька область, Горлівка)

Числові дані також зберігаються у вигляді Excel-таблиці. Даними для передачі у блок ГІС-оцінки еколого-економічних збитків є:

- площа прогнозованої зони хімічного забруднення за категоріями земель (всього, території міст, сіл, лісові угіддя);
- кількість населення у прогнозованій зоні хімічного забруднення (всього, міське, сільське);
- обсяг викиду СДОР певного виду.

Оскільки в розробленій програмі для прогнозування зони забруднення без змін реалізована методика МНС [8-12], вона може бути використана для виконання штатних задач довгострокового (оперативного) і аварійного прогнозування при аваріях на ХПНО, в тому числі у зоні збройного конфлікту на Донбасі, де просторова щільність ПНО є максимальною у державі. Тобто для розрахунку сил і засобів, які залучатимуться для ліквідації наслідків аварій різного масштабу, складення планів роботи та інших матеріалів, визначення можливих наслідків аварії і порядку дій в зоні можливого забруднення.

Функцією зазначеного програмного блоку є безпосередня оцінка засобами ГІС еколого-економічних збитків, які виникають внаслідок реаліза-

ції НС з викидом токсичних речовин в атмосферу на ХПНО. Як тих НС, що реально відбулися, так і за їх гіпотетичними сценаріями.

Для визначення збитків від наслідків реальних НС в Україні практикують так званий «експертний» підхід, коли відповідні фахівці на свій розсуд (тобто значною мірою суб'єктивно) оцінюють їх для основних реципієнтів негативного впливу (суб'єктів господарювання, персоналу і населення, об'єктів навколишнього середовища), фактично не використовуючи призначену для цього офіційну методик, розроблену колишнім МНС України [8–12], мотивуючи свою відмову тим, що в багатьох випадках її необхідно додатково адаптувати до конкретних ситуацій.

Однак наведений аргумент не є переконливим з огляду на очевидну перевагу застосування єдиної методики для об'єктивізації оцінки. Очевидною є й технологічна перевага застосування методики МНС, оскільки згідно з нею немає відмінності у техніці розрахунків для реальних і гіпотетичних аварій. Особливо у складі програмного комплексу, де на основі ГІС-аналізу автоматично визначаються геометричні параметри зони забруднення (на картографічній основі із різними категоріями житлової забудови, лісових, водних та земельних угідь), кількість ураженого персоналу та населення тощо.

Для визначення економічної шкоди в зоні проведення ООС, що обумовлені негативними наслідками від НС воєнно-техногенного характеру було розроблено комплексну комп'ютерну імітаційну модель. Вхідними даними для цієї моделі є результати ГІС – аналізу, отримані за методикою МНС.

Розвиток статистики національних рахунків, статистики платіжного балансу та банківської статистики в Україні дають змогу сьогодні, використовуючи економетричні методи моделювання, розробити макроекономічну модель для використання її в економічному аналізі і прогнозуванні [70].

В якості теоретичної макроекономічної моделі в статті було обрано макроекономічну секторну модель розвитку економіки, розроблену в Інституті економічного прогнозування НАН України. Вона пройшла апробацію в рамках міжнародного проекту Project LINK-ООН (Система національних макроекономічних моделей прогнозування світової економіки та міжнародної торгівлі) як базова модель для прогнозування розвитку економічного стану в державі.

Модель розроблено на основі існуючих у світовій практиці підходів відповідно до методології побудови економетричних моделей з метою отримання середньострокових оцінок розвитку національної

економіки і пошуку можливостей регулювання її розвитку за допомогою набору управляючих змінних в умовах економічної рівноваги. При побудові макроекономічної моделі, структура якої наведена в [13] (див. рис. 2), пропонується підхід до моделювання, що ґрунтується на взаємопов'язаних статтях національних рахунків у цінах поточного періоду при збереженні необхідного балансу між основними секторами економіки.

Змінними економічної політики визначаються: реальне та державне споживання, валові інвестиції, ставки окремих податків, експорт, імпорт, а також процентні ставки, валютний курс та індекс інфляції.

Реально взаємодія блоків моделі виявляється у побудові та узгодженні основних показників платіжного та монетарного балансів, Системи національних рахунків (СНР) та балансу державного бюджету. До того ж виробництво, дохід і витрати (або заощадження) пов'язуються трьома основними взаємозалежностями:

- виробництво – дохід;
- дохід – витрати;
- заощадження – придбання активів.

Поточні і капітальні взаємозв'язки СНР між державним, приватним, зовнішнім секторами та монетарною системою як посередницьким

сектором і три вищенаведені базові взаємозалежності складають тотожності національного доходу. Вони відображають обмеження бюджетного, зовнішнього і грошово-кредитного секторів і використовуються для розробки системи секторальних моделей оцінки і прогнозування економіки України.

Структурно загальна макромодель економіки України складається з системи відповідних макромоделей: реального сектора, споживання та доходів населення, зовнішньоекономічного, фіскального та грошово-кредитного секторів. Виділяються також сектори бюджетного та платіжного балансів.

У роботі під час вирішення задачі оптимального управління в якості критерію був обраний один з найважливіших застосовуваних в практиці макроекономічних показників – валовий внутрішній продукт. Формування його здійснюється в реальному секторі, тому більш детально розглядається саме ця модель.

Наведена модель реального сектора разом з іншими може використовуватися як для середньо-, так і довгострокового прогнозування розвитку економіки в цілому та її агрегованих галузей. У моделях закладені можливості імітаційного прогнозування економіки за формалізованим

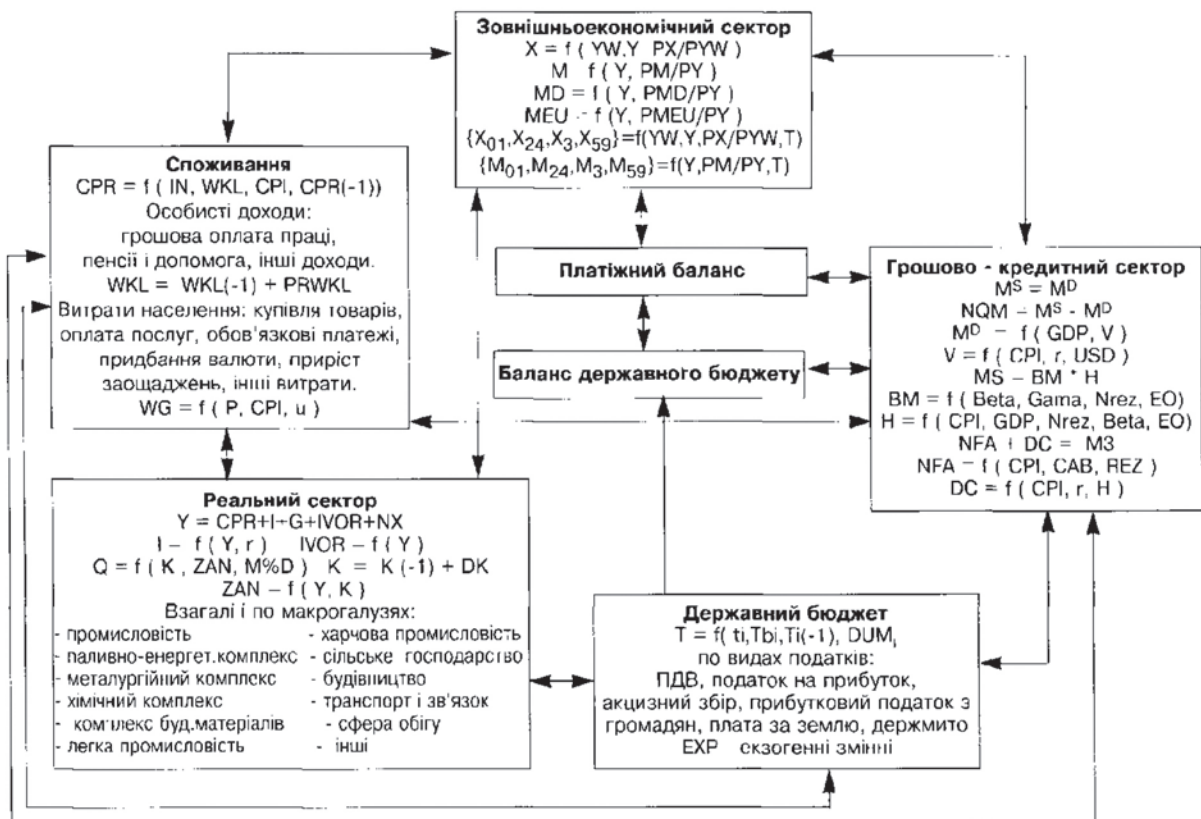


Рис. 2. Секторальні макромоделі для економічного прогнозування

описом моделі, а також альтернативними сценаріями розвитку макроекономічної ситуації, кожен з яких характеризується відповідним набором екзогенних та ендогенних змінних.

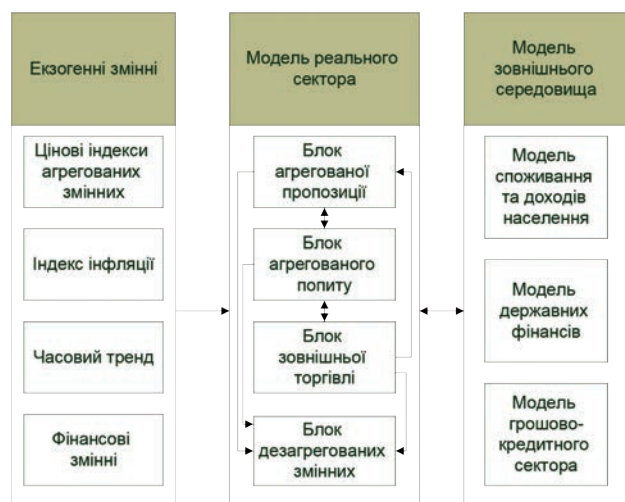


Рис. 3. Структура моделі прогнозування реального сектора

Високий ступінь агрегації моделі обумовлений відсутністю необхідних статистичних даних або неможливістю показати їх у співставних цінах. Брак необхідної статистичної інформації пов'язаний також з офіційним відходом від статистики балансу народного господарства й переходом на статистику національних розрахунків, що змінює методологію розрахунків і впливає на точність оцінки часових рядів ретроспективного періоду як в постійних цінах, так і в цінах поточного періоду.

Модель економіки України складається із регресійних рівнянь і тотожностей та належить, згідно з критеріями класифікації економіко-математичних моделей, до нелінійної, агрегованої, змішаної (що містить одночасові блоки), імітаційно-стохастичної, прикладної, в реальних і номінальних величинах та приростах змінних моделі (табл. 1).

Серед чотирьох блоків моделі реального сектора ступінь взаємозалежності регресійних рівнянь неоднакова. Блок агрегованої пропозиції складає 3 регресійних рівняння і 2 тотожності, блок агрегованого попиту розраховує 4 регресійних рівняння і 11 тотожностей, блок зовнішньої торгівлі — відповідно 4 і 8, а блок дезагрегації змінних — 24 регресійні рівняння і 32 тотожності.

Реалізація моделі забезпечує єдину технологію розв'язування системи моделей, яка складається з формування інформаційної бази, структурного аналізу взаємозв'язків вхідних змінних і розв'язку моделі, а також виводу результатів її розв'язку за вихідними змінними.

Для аналізу ретроспективного періоду і виявлення основних тенденцій його розвитку, а також взаємозв'язку показників, що характеризують ці тенденції, необхідним етапом дослідження є розробка інформаційного забезпечення моделі. Робота з підготовки інформаційного забезпечення передбачає збір, обробку і систематизацію статистичних показників з формуванням реляційної бази даних, яка використовується на різних етапах роботи з моделлю: генерація рівнянь, розв'язання моделі, аналіз отриманих результатів.

На інформаційному етапі розробки моделі відбувається аналіз та упорядкування часових рядів за період 2010—2018 рр., за допомогою яких моделі наповнюються вхідними даними, здійснюється корекція та обробка нормативних і динамічних показників інформаційної бази, а також формування архіву моделі (архівна інформаційна база даних). Підготовча робота з наповнення інформаційної бази даних моделі необхідними даними виконувалась відповідно до методології СНР України.

Модель реального сектора містить базові макроекономічні тотожності, на основі яких формуються складові ВВП за різними методами обрахування. Виробнича функція (сума валового внутрішнього продукту та імпорту) у блоці пропозиції залежить

Таблиця 1

Загальна характеристика моделі прогнозування економічної шкоди від надзвичайних ситуацій техногенного характеру для реального сектора економіки України

Блок	Кількість рівнянь			Кількість змінних		
	Всього	У тому числі		Всього	У тому числі	
		регресійних стохастичних	тотожностей		ендогенних	екзогенних
1	2	3	4	5	6	7
агрегованої пропозиції	5	2	3	8	4	4
агрегованого попиту	15	4	11	18	12	6
зовнішньої торгівлі	12	4	8	17	11	6
дезагрегованих змінних	56	24	32	65	51	14

5. Підтримка безлічі форматів вхідних даних.

Моделювання здійснювалося в двох режимах: в режимі нормального функціонування економіки і в режимі надзвичайної ситуації воєнно-техногенного характеру. Для цього структура макроекономічної моделі була модифікована – в рівняння, що задає загальну пропозицію були введені змінні, які визначають вплив зовнішніх чинників від дії надзвичайних ситуацій – ΔP та ΔI . Різниця одержаних в результаті моделювання оцінок валового внутрішнього продукту в обох режимах складає економічну шкоду внаслідок надзвичайних ситуацій і використовується для розрахунку критерію ефективності в задачах оптимального управління під час здійснення аварійно-рятувальних робіт. Загальна схема імітаційної моделі представлена на рис. 4.

Таким чином, розроблений в статті науково-методичний апарат дозволяє отримувати всі необхідні вихідні дані для вирішення задач ресурсної оптимізації при запобіганні і ліквідації наслідків НС на об'єктах критичної інфраструктури.

Висновки. Здійснено обґрунтування і вибору методів для прогнозування макроекономічних наслідків надзвичайних ситуацій воєнно-техногенного походження на об'єктах критичної інфраструктури. Розроблений підхід дозволяє оцінювати наслідки НС воєнно-техногенного походження для складних ПТГС «ХПНО-навколишнє середовище», зони екологічного впливу яких охоплюють підконтрольні і непідконтрольні території, враховуючи обмеженість і недосконалість системного моніторингу останньої. За основу були взяті методи, що використовуються при аналізі техногенного ризику, але доповнені методами, що використовуються при макроекономічному аналізі:

1. Уточнені поняття економічної шкоди на регіональному рівні від наслідків аварій (руйнувань) на об'єктах критичної інфраструктури і механізм її формування на основі натуральних втрат. Економічна шкода на рівні регіону Донбасу визначається як сума втрат валового внутрішнього про-

дукту через пряму дію наслідків аварії на об'єктах критичної інфраструктури та через дію інвестиційного механізму.

2. Модифіковано структуру математичної моделі макроекономіки України і на цій основі розроблено комп'ютерну імітаційну модель для оцінки економічної шкоди від виникнення надзвичайних ситуацій на території України з використанням підходів ГІС-аналізу та системної динаміки. Нова структура макроекономічної моделі дозволяє досліджувати вплив на економіку країни не тільки традиційних регулюючих чинників, але й таких, що мають характер зовнішніх збурень. До таких чинників і відносяться, зокрема еколого-економічні збитки та втрати від аварій і катастроф (руйнувань) на ХПНО. Ідентифікація параметрів моделі була виконана з використанням методу найменших квадратів. Адекватність і точність розробленої моделі підтверджується її статистичними характеристиками.

3. Отриманий основний науковий результат, що має прикладне значення – методика оптимізації за макrorівневим критерієм управління ресурсами, призначеними для запобіганні і ліквідації наслідків аварій (руйнувань) на об'єктах критичної інфраструктури. Окреме прикладне значення мають складові цієї методики: методика прогнозування макроекономічних наслідків аварій (руйнувань) на об'єктах критичної інфраструктури та алгоритми вирішення задач оптимального управління ресурсами при запобіганні і ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнно-техногенного походження. Сутність розробленої методики полягає:

– в оцінці техногенного ризику у випадках руйнувань (аварій) хімічних потенційно небезпечних об'єктів, вираженого в прогнозованому зниженні валового внутрішнього продукту регіону;

– розрахунку оптимального розподілу ресурсів по об'єктах на основі цієї оцінки і нормативних витрат ресурсів;

– розробці оптимальної програми (сценарію) застосування ресурсів.

Список літератури:

1. Юрчишин В. Глобальні тенденції і перспективи: світова економіка та Україна. / Наук. ред. Київ : Заповіт, 2018. 202 с.

2. Roco M. C., Bainbridge W. S., Tonn B., Whitesides G. Convergence of Knowledge, Technology and Society: Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies [Electronic resource]. Accessed mode: <http://www.wtec.org/NBIC2/Docs/FinalReport/Pdf-secured/NBIC2-FinalReport-WEB.pdf>

3. Гречанінов В.Ф., Бегун В.В. Функції управління і нагляду в ризик-орієнтованому підході до управління безпекою. Математичні машини і системи. 2014. № 1. С. 159–170.

4. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Хміль Г.А. Природний, техногенний та екологічний ризику: аналіз, оцінка, управління. Київ : Наукова думка, 2008. 543 с.

5. Бريدун Є.В. Моделювання системи компенсації еколого-економічних збитків. Інститут економічного прогнозування НАН України, Київ, 2002. forINSURER.com.
6. Лисенко О.І., Чумаченко С.М., Бодрик Ю.Г. Комплексний підхід до аналізу і прогнозування розвитку еколого-економічних систем в надзвичайних ситуаціях. *Журнал Арсенал-2000*. 2000. № 2. С. 59–61.
7. Risk Excellence Notes U.S. Department of Energy. Argonne, 2010. 127 с.
8. Методика оцінки збитків від надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру (Затверджена Постановами Кабінету Міністрів України № 175 від 15.02.2002 р. та № 862 від 04.06.2003 р.).
9. Методика визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства. Затверджено наказом Міністерства охорони навколишнього середовища та ядерної безпеки України від 27 жовтня 1997 р. № 171. *Офіційний вісник України*. Київ : ЛОГОС, 1998. № 18. с. 664.
10. Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, завданих державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів (Затверджена наказом Мінекобезпеки України від 18.05.1995 р. № 37).
11. Методика розрахунку збитків, завданих рибному господарству внаслідок порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища (Затверджена наказом Мінекобезпеки України від 18.05.1995 р. № 36).
12. Волошин С.М., Жарова Л.В., Хлобистов Є.В., Чебанов О.А. Соціально-економічний аналіз надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру / За наук. ред. д.е.н., проф. Хлобистова Є.В. / РВПС України НАН України, НДІ СРП – Сімферополь, СОНАТ, 2010. 258 с.
13. Геєць В., Скрипниченко М., Соколик М., Шумська С. Секторальні макромоделі прогнозування економіки України. *Економіст*. 1998. № 5. С. 58-67.

Chumachenko S.M., Yakovliev Ye.O., Morshch Ye.V., Partalian A.S., Huida O.H. SPECIFICS DEVELOPMENT AND REALIZATION OF COMPUTER MODELS FOR ASSESSMENT OF ECONOMIC DAMAGE FROM THE EMERGENCY SITUATIONS OF TECHNOGENIC ORIGIN WITH THE USE OF GIS TECHNOLOGY AND METHODS OF SYSTEM DYNAMICS

The relevance of tasks related to the identification and assessment of natural and man-made threats and risks, identification and forecasting of economic damage, socio-environmental and economic losses from emergencies the development of approaches to modeling in this area. This has become relevant in our time, when the Donbass is waging an undeclared hybrid war, especially.

A significant part of the capital funds of chemically hazardous industries is worn out, which in turn increases the risks of emergencies of man-made and military origin due to their destruction by artillery ammunition. Analytical and expert approaches and mathematical and simulation modeling of dangerous natural and man-made processes are used to predict the possible consequences of such emergencies. This work based on the application of a systems approach and macroeconomic models built on a system of national accounts. An example of the combined use of geographic information technology and the method of system dynamics to create a computer model to assess the economic damage from emergencies of man-made origin is given. The input data for the calculation of these values are the spatial coordinates of the source of toxic substance (SDOR), the type of SDOR, the volume of SDOR emissions (tons), meteorological conditions at the release time, topographic features of the pollution zone, geometric characteristics, population in urban and rural settlements. In general, the original macroeconomic model consists of an aggregate supply that includes 3 regression equations and 2 identities, a block of aggregate demand – 4 regression equations and 11 identities, a block of foreign trade – 4 and 8 equations, and a block of disaggregation of variables – 24 regression equations and 32 identities.

A computer model is developed from this model using the system dynamics method in the Vensim PLE simulation environment, which allows simulating possible economic damage and socio-ecological-economic damage in the event of regional emergencies, in the future.

Key words: emergency situation, economic damage, simulation model, socio-ecological-economic losses, geoinformation technologies, method of system dynamics.

УДК 621.01:62-251:62-762
DOI

Шевченко С.С.

Институт проблем моделирования в энергетике имени Г.Е. Пухова
Национальной академии наук Украины

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Зростання одиничних параметрів відцентрових машин вимагає вирішення проблем ефективної герметизації ущільнюваних середовищ. Крім герметизації, ущільнювальні системи впливають на вібраційну безпеку обладнання. З метою гармонізації функцій герметизації і підвищення динамічної жорсткості роторів відцентрових машин розроблені моделі різних ущільнювальних систем. Моделі контактних ущільнень – сальникових і торцевих механічних – дають уявлення про механізми герметизації і є основою для подальшого аналітичного дослідження. Модель ущільнення з саморегульованим моментом в парі тертя пояснює механізм регулювання моменту тертя в різних конструкціях контактних ущільнень. Модель імпульсного торцевого ущільнення як системи автоматичного регулювання дозволила виробити єдиний підхід до його розрахунку, побудови статичних характеристик і визначення коефіцієнтів статичної та динамічної жорсткості. Розроблена модель жорсткого ротора з автоматичним урівноважуючим пристроєм служить основою для аналітичного аналізу вимушених коливань ротора, амплітуда яких залежить від віддаленості частоти обертання від власних частот системи ротор – урівноважуючий пристрій. Модель динамічної системи ротор – циліндр ущільнення показує, що при виборі конструкцій циліндричних ущільнень потрібно враховувати не тільки їх пряме призначення – зменшувати об'ємні втрати, але і не менш важливу їх функцію – забезпечувати необхідні вібраційні характеристики ротора. Побудовані моделі різних типів ущільнень дозволяють оцінити вплив їх конструктивних особливостей на динамічні характеристики відцентрових машин. Отримані моделі гідромеханічних систем ротор – ущільнення і ротор – урівноважуючий пристрій дозволяють знаходити рішення задачі підвищення вібраційної надійності відцентрових машин за рахунок правильного вибору конструкції ущільнень.

Ключові слова: герметизація, конструкція ущільнення, модель, динамічна система, вібраційна надійність.

Постановка проблеми. С ростом единичных параметров центробежных машин, таких как давление уплотняемой среды и скорость вращения ротора, возрастают и проблемы, связанные с обеспечением эффективной герметизации уплотняемой среды. Помимо собственно герметизации, уплотнительные системы оказывают все большее влияние на общую эксплуатационную безопасность оборудования, особенно вибрационную [1].

Обеспечить полную герметичность работы современного оборудования, даже применением сложных уплотнительных систем, практически невозможно. Поэтому логично возникает мысль о полезном использовании энергии, которая затрачивается на преодоление уплотняемой средой уплотнений, на улучшение динамических характеристик оборудования. В частности, радиальные и осевые бесконтактные уплотнения, на которых дросселируется огромный перепад давления, могут играть роль статических, а при правильных подходах к проектированию, и динамических, опор. Это необходимо учитывать

при проектировании ответственного энергетического оборудования.

В авиационной и космической технике, где, помимо высоких уплотняемых давлений и скоростей вращения роторов, велики ограничения по весу и габаритам оборудования, применение уплотнений как динамических опор особенно важно. При правильном проектировании уплотнения могут ужесточать гибкий ротор, обеспечивая требуемую вибрационную надежность.

Условия работы уплотнений и возлагаемые на них функции отличаются большим разнообразием. Кроме центробежных насосов и компрессоров они широко применяются в системах гидро- и пневмоавтоматики, в гидро- и пневмоприводах (гидроцилиндры, плунжеры, золотники, регулируемые дроссели, клапаны), в приборах с неуплотненным поршнем, в запорной, регулирующей и предохранительной арматуре, в различных поршневых машинах (поршневые кольца), в гидравлических, паровых и газовых турбинах (лабиринтные уплотнения). Радиальные и торцевые, контактные

и бесконтактные уплотнения – во всех этих конструкциях большое значение имеют как расходные, так и динамические характеристики [1].

Динамические характеристики особенно важны для уплотнений быстроходных роторов. Уплотнения, помимо функции уплотнять, выполняют не менее важную функцию – улучшать вибрационное состояние ротора. К сожалению, эти функции, как правило, находятся во взаимном противоречии: конструктивные меры, направленные на повышение гидравлического сопротивления, чаще всего ухудшают динамические качества уплотнений, их гидростатическую жесткость и демпфирование [2]. Усилия конструкторов направлены на гармонизацию этих функций.

Особенность центробежных машин состоит в том, что перечисленные задачи взаимосвязаны и в большинстве случаев могут быть удовлетворительно решены за счет правильного выбора конструкции уплотнений.

Анализ литературы. В процессе создания центробежных насосов на любые параметры, помимо отработки экономичной проточной части, первостепенными задачами являются снижение вибраций, обеспечение требуемой надежности и долговечности опор и приводных муфт, разработка надежных и достаточно герметичных уплотнений [1].

В центробежных насосах до 10% потребляемой мощности теряется на протечки через щелевые уплотнения рабочих колес и системы авторазгрузки осевых сил [2]. Энергию объемных потерь можно превратить в полезную энергию, если щелевые уплотнения использовать одновременно как гидростатические опоры, способные обладать не только большой радиальной жесткостью, но и эффективно демпфировать колебания ротора [3]. В этом случае энергия протечек не только может обеспечить необходимую несущую способность опор, но и, что важно, снизить до допустимого уровня вибрации ротора даже при наличии значительной неуравновешенности [4]. Влияние среды особенно существенно при наличии больших градиентов скоростей и давлений, что характерно для малых зазоров щелевых уплотнений, на которых дросселируются большие перепады давления, а одна из стенок принадлежит вращающемуся и вибрирующему ротору [5].

Как указано в работе [6] ротор и щелевые уплотнения представляют замкнутую гидромеханическую систему. Этим обусловлена основная особенность и сложность проблем динамики роторов центробежных машин. Уплотнения не только

изменяют критические частоты ротора, но и существенно влияют на амплитуды его вынужденных колебаний и на границы его устойчивости [7].

Динамические характеристики щелевых уплотнений как промежуточных опор исследованы в работе [8]. В ней получены линеаризованные выражения радиальных гидродинамических сил и моментов, действующих на ротор со стороны потока жидкости в зазоре щелевого уплотнения. Силовые характеристики определяются геометрическими и режимными параметрами уплотнений: начальной конусностью и радиальным зазором, длиной и средним радиусом канала, дросселируемым перепадом давления, частотой вращения ротора, закруткой потока на входе в зазор, физическими свойствами жидкости. Анализ влияния щелевых уплотнений на динамику ротора позволяет выбирать их конструкцию так, чтобы во всем рабочем диапазоне уровень вибраций ротора не выходил за допустимые пределы [9].

Однако проблемы динамики роторов в щелевых уплотнениях несколько обойдены вниманием, поскольку для их решения требуется знание гидродинамических характеристик щелевых уплотнений. А это отдельная задача гидродинамики трехмерных нестационарных течений вязкой жидкости в кольцевых каналах, стенки которых вращаются и одновременно совершают радиально-угловые колебания.

Постановка задания. Цель статьи – построение моделей различных уплотнений и гидромеханической системы ротор – уплотнения, описывающих влияние конструктивных особенностей уплотнений на динамические характеристики центробежных машин.

Изложение основного материала.

Сальниковые уплотнения

Исследования распределения давления жидкости и изменения контактных давлений [10] показали, что по мере увеличения давления герметизируемой жидкости в уплотнении выделяется два последовательно расположенных участка. Со стороны герметизируемой жидкости имеется участок, на котором давление жидкости в зазоре изменяется незначительно. Набивка на этом участке либо не создает больших контактных давлений, либо полностью отжата от вала. На втором участке, длина которого уменьшается по мере роста давления жидкости, происходит основное дросселирование давления жидкости. На этом участке создаются максимальные контактные давления набивки на вал, превышающие давление уплотняемой среды. Характер распределения

давления жидкости на этом участке сходен с распределением давления жидкости в сальниковом уплотнении при низком давлении.

Таким образом, логично формируется модель механизма герметизации сальникового уплотнения как сочетание двух последовательно расположенных гидравлических сопротивлений: предвключенного сопротивления аналогичного щелевому дросселю и контактного уплотнения, где происходит непосредственная герметизация вала. При этом предвключенный участок, находящийся под действием практически полного давления герметизируемой жидкости, создает значительные напряжения в пакете набивки. При деформации последнего создаются контактные напряжения на рабочем участке. Величина этих напряжений определяется давлением герметизируемой жидкости, физико-механическими свойствами и размерами набивки. Существенную роль играет форма опорных поверхностей и схема приложения нагрузки, определяемая конструкцией узла.

В модели сальникового уплотнения в качестве фильтрующего слоя выступает контактирующая с валом поверхность набивки. Высота его микронеровностей определяется структурой плетения и диаметром волокон плетеной сальниковой набивки. Данная физическая модель механизма герметизации (рис. 1) позволяет объяснить основные особенности работы уплотнения и может явиться базой для аналитического исследования.



Рис. 1. Физическая модель механизма герметизации

Долговечность сальникового уплотнения определяется комплексом связанных между собой параметров. Из параметров, характеризующих процесс герметизации, в наибольшей степени влияют на долговечность набивки величина и распределение контактного давления на вал и условия смазки.

Торцовые механические уплотнения

Торцовое уплотнение представляет собой динамическую систему [11], упрощенная структурная схема которой (рис.2) дает представле-

ние о взаимодействии основных ее элементов, о характере их передаточных функций, о внешних воздействиях и выходах системы и позволяет определить задачи расчета передаточных функций элементов и дать оценку реакции системы на внешние воздействия. Сложность процессов термогидроупругости, трения и изнашивания не позволяет дать точное определение большинству передаточных функций элементов системы. Поэтому расчет приходится ограничивать приблизительными оценками и сравнением вновь проектируемых уплотнений с проверенными в эксплуатации аналогами.

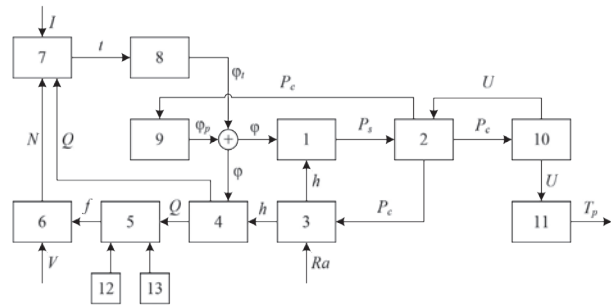


Рис. 2. Структурная схема уплотнения:

- 1 – гидростатическое давление в зазоре; 2 – контактное давление; 3 — торцовый зазор; 4 – протечки; 5 – режим трения; 6 – потери на трении; 7 – тепловое состояние; 8 – температурные деформации; 9 – силовые деформации; 10 – износ; 11 – ресурс; 12 – антифрикционные свойства материалов; 13 – характеристики уплотняемой среды

Саморегулируемые контактные уплотнения

В конструкциях уплотнений с саморегулируемым моментом в паре трения (рис. 3) [12] устранен недостаток, характерный для традиционных конструкций.

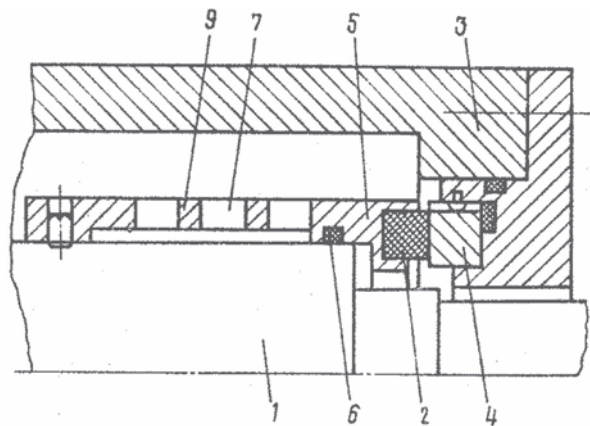


Рис. 3. Саморегулируемое торцовое уплотнение

Автоматизм работы саморегулируемых уплотнений обусловлен введением отрицательной

обратной связи между моментом трения в контакте и усилием поджатия пары трения. Под действием повышения уплотняемого перепада давления либо появления зоны обеднённой смазки в торцовом контакте жидкостный режим трения меняется на граничное или сухое трение. В контактной паре кольцо 2-кольцо 4 возникает момент сил трения скольжения. Под действием этого момента скорость вращения кольца 2 становится меньше, чем скорость вращения втулки 5, закрепленной на валу 1 и вращающейся вместе с ним. Кольцо 2 тормозится, в результате происходит скручивание разрезной втулки 5, что вызывает уменьшение её осевой длины. Давление в стыке уменьшается, микрозазор в паре трения увеличивается, смазочный слой восстанавливается, наступает режим жидкостного трения и прорезная втулка 5, закрученная на некоторый угол, возвращает кольцо 2 в исходное положение. В случае, когда прорезная втулка 5 закреплена на корпусе 3, механизм работы уплотнения аналогичен.

На рис.4 приведена модель саморегулируемого уплотнения, которая включает следующие составляющие: 1 – кольцо пары трения, осевой деформации Δ которого соответствует осевая сила сжатия F_N ; 2 – контактирующие между собой и уплотняемой средой элементы пары трения (сила сжатия F_N преобразуется в момент трения M между уплотняющими поверхностями); 3 – регулирующий орган – упругие элементы, осевой прогиб δ которых зависит от воздействующих на них осевой силы F_x и момента M ; 4 – измерительное устройство – обойму, угол поворота φ которой зависит от осевой деформации δ упругих элементов; 5 – задающее устройство – нажимной механизм, воздействуя на который усилием затяжки F_3 при наладке задают его требуемое осевое смещение x , определяющее оптимальное значение момента трения M (о величине момента судят по значению угла φ поворота обоймы); 6 – элемент сравнения – нажимное кольцо, разностью осевых смещений которого $x - \delta = \Delta$ определяется деформация колец пары трения; 7 – преобразователь уплотняемого давления P_0 в дополнительное усилие поджатия F_0 – нагрузочная площадка обоймы или нажимного кольца; 8 – нажимное кольцо, на которое воздействуют осевые силы F_n и F_o , сумма которых F_x передается на упругие элементы.

Подобным образом можно регулировать момент трения в различных конструкциях контактных уплотнений. Предложенный принцип регулирования допускает различные варианты исполнения, отличающиеся механизмом преобразования пово-

рота аксиально подвижного кольца в его осевое смещение, т.е. механизмом обратной связи шевченко.

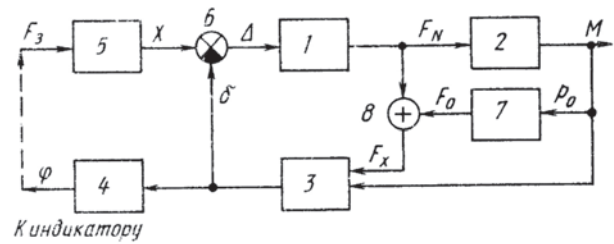


Рис. 4. Модель саморегулируемого уплотнения

Импульсные торцовые уплотнения

Импульсные торцовые уплотнения как альтернатива механическим и гидростатическим торцовым уплотнениям появились в процессе создания уплотнений роторов главных циркуляционных насосов АЭС [1]. Всесторонние экспериментальные исследования и натурные испытания показали, что такие уплотнения удовлетворяют жестким требованиям по надежности, герметичности и ресурсу, предъявляемым к основному оборудованию АЭС. Благодаря этому импульсные уплотнения привлекли внимание разработчиков высокооборотных центробежных машин и для других отраслей промышленности [13].

Простейшая конструкция одноступенчатого импульсного уплотнения (рис. 5) отличается от механического торцового уплотнения тем, что на торцовой поверхности аксиально-подвижного кольца 1 расположены замкнутые камеры 2, а на вращающемся опорном кольце 6 сделано несколько радиальных каналов-питателей 5, открытых в сторону уплотняемой полости. Через эти каналы уплотняемая среда под уплотняемым давлением p_1 впрыскивается в камеры за те короткие промежутки времени $t_c = \beta_c / \omega$, в течение которых вращающиеся каналы 5 проходят мимо камер 2. В эти моменты давление p_2 в камерах скачкообразно повышается до величины $p_{2\max} = p_1$ за вычетом инерционного напора $p_* = 0,5\rho(r_3^2 - r_2^2)\omega^2$, который возникает во вращающихся радиальных каналах-питателях.

Для выбора конструктивных параметров, обеспечивающих требуемые характеристики уплотнений в заданном диапазоне изменения давления, необходима разработка методов их расчёта.

Рассматривая уплотнения в виде систем автоматического регулирования (рис. 6), можно выработать единый подход к их расчету, который сводится к построению статических характеристик, то есть зависимости зазора и расхода от внешних воздействий, и определению коэффициентов статической и динамической жесткости.

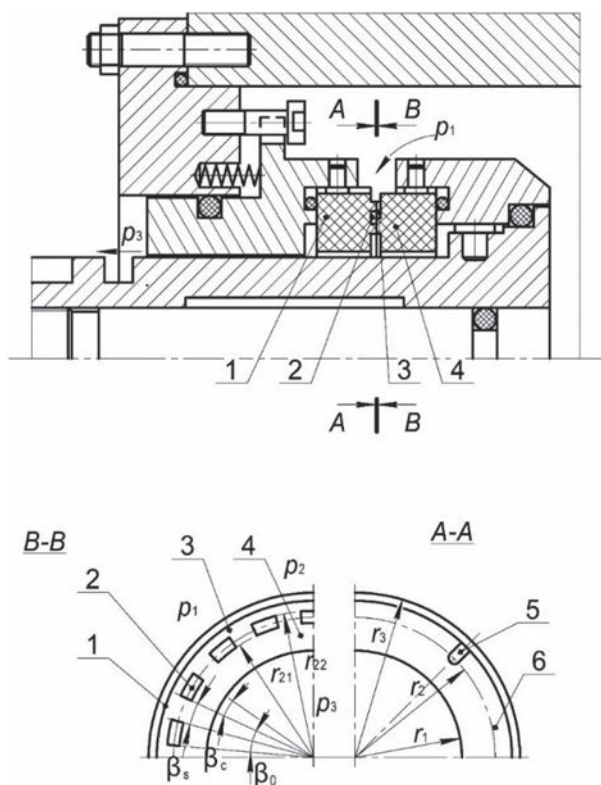


Рис. 5. Схема импульсного торцевого уплотнения



Рис. 6. Модель импульсного уплотнения как системы автоматического регулирования

Основные формулы для расчета импульсных уплотнений приведены в таблице 1.

Автоматические уравнивающие устройства как уплотнительные системы

В настоящее время для крупных высоконапорных многоступенчатых насосов самым эффективным способом уравнивания осевых сил является использование автоматических уравнивающих устройств – гидропят [14]. Гидропятя (рис. 7) содержит цилиндрический дроссель 1, неподвижное опорное кольцо (подушку) 2, торцовый дроссель 3, камеру 4, разделяющую цилиндрический и радиальные дроссели, а также жестко закрепленный на валу разгрузочный диск 5, выполняющий роль упорного подшипника.

Полный перепад давления $\Delta p = p_1 - p_3$ на пяте соответствует разности между давлением нагнетания p_1 и давлением в камере за гидропятной. Часть общего перепада давления $\Delta p_2 = p_2 - p_3$ дросселируется на торцовом зазоре 3, проводимость которого зависит от

ширины зазора z , т.е. от осевого положения ротора. Если под действием избыточной осевой силы ротор смещается влево, то зазор z уменьшается, а давление увеличивается, восстанавливая равенство силы T , действующей на ротор, и силы F_z , действующей на разгрузочный диск. Таким образом, гидропятя автоматически поддерживает осевое равновесие ротора. Ротор центробежного насоса с системой авторазгрузки имеет свободу осевых перемещений в пределах торцевого зазора гидропятя. В простейшем случае ротор как абсолютно твердое тело совершает одномерные осевые колебания, характеристики которых определяются параметрами системы уравнивания. Кроме того, в цилиндрическом дросселе возникают гидродинамические радиальные силы, определяющие характер радиальных колебаний ротора. Одна из них – сила гидростатической жесткости – пропорциональна дросселируемому перепаду давления $\Delta p_1 = p_1 - p_2$, т.е. прямо зависит от давления p_2 в камере, а значит, и от осевых колебаний. Следовательно, радиальные и осевые колебания оказываются взаимосвязанными.

В процессе работы насоса на ротор действуют близкие к гармоническим возмущения в виде пульсаций давления нагнетания и осевой силы. Частота пульсаций равна или кратна частоте вращения. Под действием этих возмущений ротор совершает вынужденные колебания, амплитуда которых зависит от удаленности частоты вращения от собственных частот системы ротор-уравнивающее устройство. На рис. 8 приведена простейшая модель одномассового жесткого ротора с автоматическим уравнивающим устройством.

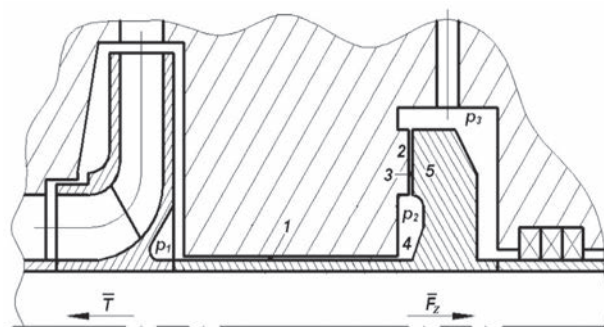


Рис. 7. Гидропятя

В процессе работы насоса на ротор действуют близкие к гармоническим возмущения в виде пульсаций давления нагнетания и осевой силы. Частота пульсаций равна или кратна частоте вращения. Под действием этих возмущений ротор совершает вынужденные колебания, амплитуда которых зависит от удаленности частоты вращения

от собственных частот системы ротор-уравновешивающее устройство. На рис. 8 приведена простейшая модель одномассового жесткого ротора с автоматическим уравновешивающим устройством.

Модель динамической системы «ротор – щелевые уплотнения»

Влияние среды особенно существенно при наличии больших градиентов скоростей и давлений, что характерно для малых зазоров щелевых уплотнений, на которых дросселируются большие перепады давления, а одна из стенок принадлежит вращающемуся и вибрирующему ротору [15].

Таблица 1

Характеристики импульсных уплотнений

Определяемые характеристики	Выражения
Статическая характеристика	$u = \left\{ \frac{\alpha_{e1} \frac{\bar{T}_p}{T_n} \Omega}{\frac{\chi}{\Delta\Psi} + K - \alpha_{e3} - \alpha_{e1} \frac{t_{cn} - \bar{T}\Omega_c}{T_n}} \right\}^{1/3}$
Расходная характеристика	$\bar{Q} = u^3 \Delta\Psi \alpha_{e3} \left[1 + \alpha_{31} \frac{t_{cn}/\Omega - \bar{T}_c + \bar{T}_p/u^3}{T_n} \Omega \right]$
Условие динамической устойчивости без учета вязкого трения	$V_0 < \frac{A_s E z_0 g_{s0}}{3(1 + n_i)(k_1 g_{30} - k_3 g_{10})(p_{10} - p_{30})}$
Постоянные времени, весовые коэффициенты, безразмерные давления и проводимости	$T_c = \frac{\bar{T}_c}{G(u)}, \bar{T}_c = \frac{V_0}{E g_i}, G(u) = 1 + (\alpha_{1i} + \alpha_{3i})u^3; T_p = \frac{\bar{T}_p}{u^3}, \bar{T}_p = \frac{V_0 \alpha_{e3}}{E g_{1n}};$ $G_c = \frac{1}{G} [(1 + \alpha_{1i} u^3) p_1 + \alpha_{3i} u^3 p_3], G_p = \alpha_{e3} p_1 + \alpha_{e1} p_3;$ $\alpha_{e3} = \frac{g_{en}}{g_{3n}}, \alpha_{e1} = \frac{g_{en}}{g_{1n}} = 1 - \alpha_{e3};$ $\alpha_{1i} = \frac{g_{1n}}{g_i}, \alpha_{3i} = \frac{g_{3n}}{g_i}, \alpha_{31} = \frac{g_{3n}}{g_{1n}}; g_{en} = \frac{g_{1n} g_{3n}}{g_{1n} + g_{3n}}, g_e = g_{en} u^3.$
<p>Обозначения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – безразмерная частота вращения ротора; K – коэффициент нагрузки $\Delta\Psi$ – безразмерный уплотняемый перепад давления. χ – безразмерное усилие предварительного сжатия пружин t_c – время, в течение которого питатель проходит мимо камеры; $\bar{T} = 2\pi/n_i\omega$ – время между очередными впрысками T_c, T_p – постоянные времени сжатия и расширения u – безразмерный торцовый зазор V_0 – объем камеры A_s – площадь рассматриваемого элемента торцового зазора z – осевая координата или торцовый зазор g_{s0} – суммарная проводимость для установившегося зазора n_i, n_c – число питателей и камер соответственно k_1, k_3 – весовые коэффициенты g_i, g_1, g_3 – гидравлические проводимости питателя, внутреннего и наружного торцовых дросселей G, G_c, G_p – безразмерные проводимости p_1, p_3 – уплотняемое давление и противодействие Q – утечки через уплотнения; E – модуль упругости жидкости; Нижние индексы n – номинальные значения; 0 – установившиеся значения; c – принадлежность к периоду сжатия жидкости в камере; p – принадлежность к периоду расширения жидкости в камере. 	

Упрощенная структурная схема системы ротор - щелевые уплотнения, показана на рис. 9. Радиальные (x, y) и угловые (ϑ_x, ϑ_y) колебания ротора во многом определяются гидродинамическими силами (F) и моментами (M), возникающими в уплотняющих зазорах (в кольцевых дросселях), а сами силы и моменты зависят от характера движения ротора. Еще одна обратная связь существует между геометрической формой зазора (средний радиальный зазор H и конусность ϑ_2) и давлением в зазоре $p(z, \varphi)$: деформации уплотнительных колец определяются распределением давления, которое очень чувствительно к изменению величины и формы зазора.

Таким образом, при выборе конструкции щелевых уплотнений нужно учитывать не только их прямое назначение – уменьшать объемные потери, но и не менее важную их функцию – обеспечивать необходимые вибрационные характеристики ротора.

На рис. 10 показана модель щелевого уплотнения, которая представляет собой кольцевую дроссель, образованный внутренним цилиндром (валом) с малым углом конусности ϑ_A и внешним цилиндром (втулкой) с углом конусности ϑ_B ; суммарный угол конусности канала $\vartheta_0 = \vartheta_B - \vartheta_A$. Параметр конусности канала $\theta_0 = \vartheta_0 l / 2H$, $|\theta_0| \leq 1$.

Вал и втулка вращаются вокруг собственных осей с частотами собственного вращения ω_1, ω_2 . Сами оси вращаются вокруг неподвижного центра O

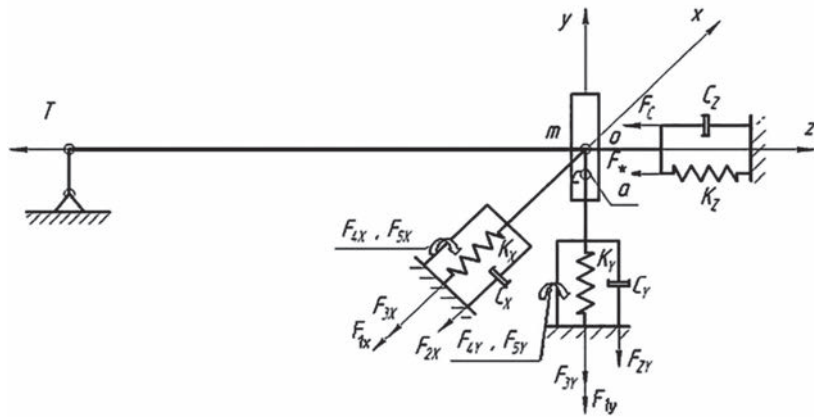


Рис. 8. Одномассовая модель жесткого ротора с автоматическим уравнивающим устройством

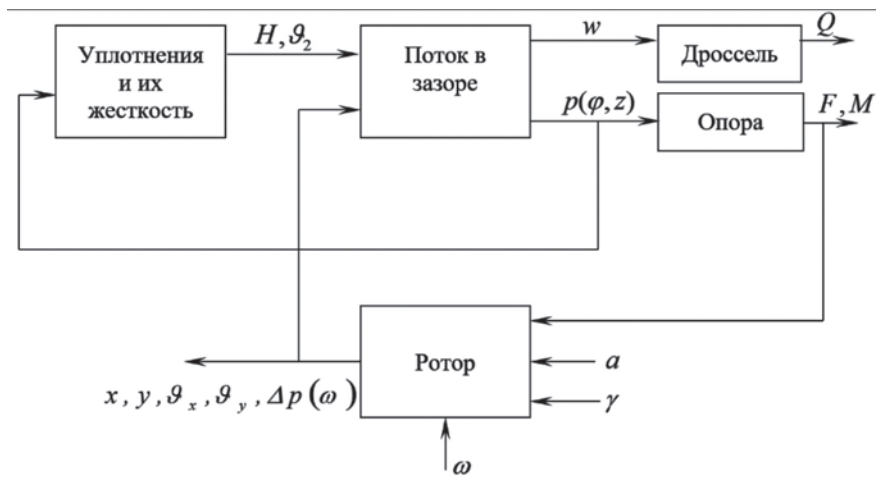


Рис. 9. Модель гидромеханической системы ротор – щелевые уплотнения

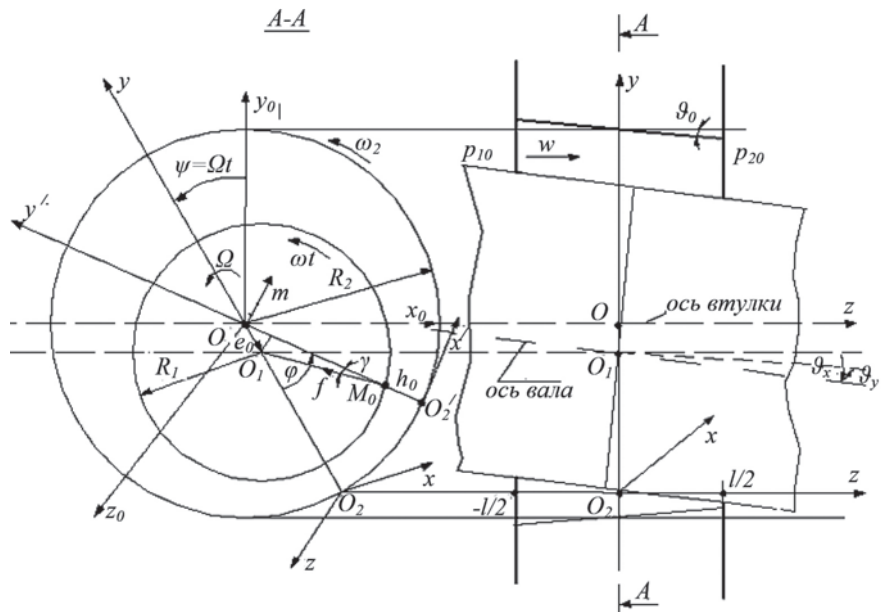


Рис. 10. Расчетная схема щелевого уплотнения с подвижной втулкой

с частотами прецессии $|_1, |_2$, а также совершают радиальные и угловые колебания.

Выводы. Построены модели различных типов уплотнений, которые позволяют оценить влияние их конструктивных особенностей на динамические характеристики центробежных машин.

Полученные модели гидромеханических систем ротор – уплотнения и ротор – уравнивающее устройство позволяют находить решение задачи повышения вибрационной надежности центробежных машин за счет правильного выбора конструкции уплотнений.

Список литературы:

1. Марцинковский В.А., Шевченко С.С. «Насосы атомных электростанций: расчет, конструирование, эксплуатация»: монография / под общ. ред. С.С. Шевченко. Сумы : ЧФ «Издательство «Университетская книга», 2018. 472 с.
2. Марцинковский В.А. Щелевые уплотнения: теория и практика. Сумы: Изд-во Сумского госуниверситета, 2005. 416 с.
3. Марцинковский В.А. Радиально-угловые колебания ротора центробежной машины в щелевых опорах-уплотнениях. / Zeszyty naukowe politechniki Świętokrzyskiej. Mechanika ,54. Kielce ,1995, s. 247–259.
4. Марцинковский В. А. Динамика роторов центробежных машин: монография. Сумы : СумГУ, 2012. 562 с.
5. Korczak A., Marcinkowski W., Peczkis G. Wpływ szczelin uszczelniających na dynamikę zespołu wirującego pompy odśrodkowej. Politechnika śląska. Prace naukowe, 2007, Z. 18, s. 161–170.
6. Kundera Cz, Marcinkowski W. The effect of the annular seal parameters on the dynamics of the rotor system. Int. Journal of Applied Mechanics and Engineering. 2010, V.15, N 3, p.p. 719–730.
7. Marcinkowski W., Kundera Cz. Teoria konstrukcji uszczelnien bez-stykowych. Kielce: Wyd-wo Politechniki Świętokrzyskiej, 2008. 443 s.
8. Yamamoto T., Ishida Y. Linear and nonlinear rotor dynamics. A modern treatment with applications / T. Yamamoto, Y. Ishida. New York, John Willey&Sons, 2001. 326 p.
9. Vijaykumar, A., Morrison, G. (2010). Numerical Simulation of the Flow Field in a Statically and Dynamically Eccentric Annular Seal with Non-circular Whirl Orbits. FEDSM, 1(Parts A, B and C), pp. 731–761. Canada.
10. S. S. Shevchenko, “Design Improvement of Stuffing Box Seals of Centrifugal Pump Shafts, Based on the Study of the Sealing Mechanism Physical Model,” Journal of Mechanical Engineering, vol. 23, no. 2, Jun. 2020, doi: 10.15407/pmach2020.02.041.
11. S. S. Shevchenko, “Computational method for mechanical seal as a dynamic system,” Elektronnoe Model., vol. 45, no. 5, pp. 66–81, 2020, doi: <https://doi.org/10.15407/emodel.42.05.066>.
12. S. S. Shevchenko and M. S. Shevchenko, “Calculation of Contact Seals as Automatic Control Systems with Inverse Feedback,” Elektronnoe modelirovanie, vol. 42, no. 3, pp. 99–110, May 2020, doi: 10.15407/emodel.42.03.099.
13. Development and application of double pulse gas-liquid seals / V. Martsynkovskyy, Y. Gaft, B. Gromyko, O. Chernov// Proc. of 16th International Conference on Fluid Sealing, 18–20 September, 2000. Brugge, Belgium, 2000. P. 255–26
14. Марцинковский В.А. Основы динамики роторов : монография. Сумы: СумГУ, 2009. 307 с.
15. Марцинковский В.А. Радиально- угловые колебания ротора центробежной машины в щелевых опорах-уплотнениях. Zeszyty naukowe politechniki Świętokrzyskiej. Mechanika ,54. Kielce ,1995, s. 247–259.

Shevchenko S.S. DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF SEALING SYSTEMS

The growth of the unit parameters of centrifugal machines requires solving the problems of effective sealing of the sealed media. In addition to sealing, sealing systems affect the vibration safety of equipment. In order to harmonize the sealing functions and increase the dynamic rigidity of the rotors of centrifugal machines, models of various sealing systems have been developed. Such models of contact seals as stuffing box and mechanical seals give an idea of the sealing mechanisms and are the basis for further analytical research. The self-adjusting torque seal model in a friction pair explains the friction torque control mechanism in various contact seal designs. The model of an impulse mechanical seal as an automatic control system made it possible to develop a unified approach to its computation, plotting of static characteristics and determination of the coefficients of static and dynamic stiffness. The developed model of a rigid rotor with an automatic balancing device serves as the basis for the analysis of forced rotor oscillations, the amplitude of which depends on the remoteness of the rotation frequency from the natural frequencies of the rotor-balancing device system. The model of the dynamic system rotor-groove seals shows that when choosing designs of groove seals, it is necessary to take into account not only their direct purpose, which is to reduce volumetric losses, but also their equally important function to provide the necessary vibration characteristics of the rotor. The constructed models of various types of seals make it possible to assess the impact of their design features on the dynamic characteristics of centrifugal machines. The obtained models of hydromechanical systems rotor-seals and rotor-balancing device allow finding a solution to the problem of increasing the vibration reliability of centrifugal machines due to the correct choice of the seal design.

Key words: sealing, seal design, model, dynamic system, vibration reliability.

УДК 004.052.42
DOI

Шкарупило В.В.

Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова Національної академії наук України

Чемерис О.А.

Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова Національної академії наук України

Душеба В.В.

Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова Національної академії наук України

Кудерметов Р.К.

Національний університет «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ МУЛЬТИПОТОЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ ПЕРЕВІРКИ НА МОДЕЛІ ДЛЯ ТЕМПОРАЛЬНОЇ ЛОГІКИ ДІЙ¹

У наш час мультитядерні обчислювальні системи широко застосовуються при вирішенні науково-прикладних задач різноманітного характеру. Одним із актуальних сценаріїв такого застосування є розв'язання задачі формальної верифікації, орієнтованої на перевірку коректності проєктних рішень, одержуваних, зокрема, під час розроблення систем критичного призначення. Предметна сфера систем критичного призначення є особливо показовою, оскільки канонічні засоби валідації одержуваних рішень – тестування, імітаційне моделювання – не дозволяють охопити усі потенційно можливі сценарії функціонування системи. Дієвим рішенням у цьому разі є використання методів перевірки на моделі, що застосовуються по відношенню не до системи безпосередньо, а до відповідної формальної моделі – специфікації. Застосування названих методів передбачає повний перебір простору станів системи переходів, синтезованої згідно з формальною специфікацією. Такий підхід характеризується експоненційним зростанням простору станів залежно від числа змінних станів. Відповідні супутні часові витрати на верифікацію можна істотно знизити шляхом залучення мультиточної реалізації методу перевірки на моделі. Залежно від структури специфікації та особливостей реалізації методу перевірки на моделі, корисний ефект від введення паралелізму може істотним чином варіюватися. Це своєю чергою породжує питання доцільності такого введення для того чи іншого випадку. Дослідженню цього питання і присвячено цю роботу, що дозволить сформулювати рекомендації щодо застосування мультиточної реалізації методу перевірки на моделі для заданого сценарію предметної області.

У якості досліджуваного використано метод TLC, що знайшов широке застосування в індустрії. Розглянуто дві альтернативні реалізації методу, що будуються на перевірці елементів простору станів системи переходів, відповідно, шляхом обходів у ширину і глибину теорії графів. Сформульовано рекомендації до мультиточного прикладного застосування реалізації методу.

Ключові слова: BFS, DFS, TLC, мультиточність, перевірка на моделі, верифікація, система критичного призначення.

Постановка проблеми. У наші дні паралельні обчислення широко застосовуються для сприяння вирішенню поставлених науково-технічних задач різного характеру, що включають, зокрема, задачі енергетики, аерокосмічної галузі тощо. Відповідне сприяння проявляється у скороченні супутніх часових витрат [1]. Одержуваний при цьому корисний ефект істотним чином залежить

як від програмно-апаратних можливостей застосовуваної обчислювальної платформи, так і від специфіки вирішуваної задачі – її придатності до розпаралелювання. Особливої уваги при цьому заслуговують актуальні сьогодні задачі, вирішувані формальними методами, а саме методами перевірки на моделі [2]. Предметною областю відповідних задач є, зокрема, системи критичного призначення – системи, збої і відмови у роботі яких можуть призвести до наслідків критичного масштабу і характеру. Процес розроблення названих систем регламентується, зокрема, наступними стандартами функціональної безпеки: IEC

¹ Дослідження виконано у межах науково-дослідної роботи № 0120U102683 «Розроблення спеціалізованих комп'ютерних технологій моделювання та опрацювання оперативної інформації в задачах енергетики», що проводиться відділом математичного та комп'ютерного моделювання Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України.

61508 [3], ISO 26262:2018 [4], де рекомендується застосовувати формальні методи. Підхід до застосування названих методів на прикладі космічної галузі вже було висвітлено [5].

Окремої уваги заслуговує метод верифікації TLC (TLA Checker), що базується на використанні темпоральної логіки дій TLA (Temporal Logic of Actions) Л. Лемпорта (Leslie Lamport) – лауреата премії Тюрінга [6]. Метод знайшов широке застосування в індустрії: під час перевірки проєктних рішень веб-сервісів компанії Amazon [7], у атомній енергетиці – під час перевірки логіки роботи системи захисту атомного реактору [8], під час проєктування системи керування рухом залізничного транспорту тощо [9]. Попри чисельні публікації у напрямі дослідження і застосування названого методу, питання мультипоточної імплементації альтернативних реалізацій методу у контексті одержуваного від цього корисного ефекту лишається невисвітленим. Розвиткові цього напрямку і присвячено цю роботу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій Результати попередніх досліджень показали, що корисний ефект від введення мультипоточності до чисельного вирішення різноманітних науково-прикладних задач може бути доволі вагомим [1]. Підтвердженням обґрунтованості таких кроків є підтримка мультипоточності реалізаціями різноманітних методів перевірки на моделі. Показовим є метод TLC: для обчислювальної системи із 384 процесорами було одержано коефіцієнт прискорення, близький до 328 [10]. Своєю чергою результати попередніх досліджень названого методу, здобуті авторами даної роботи, показують, що доцільність застосування кожної із двох альтернативних реалізацій методу – на основі обходу у ширину (BFS, Breadth-first Search) і у глибину (DFS, Depth-first Search) теорії графів – істотним чином залежить як від числа змінних станів в основі формальної специфікації (ФС), до якої застосовується метод, так і від структури специфікації [11; 12]. Більше того, було показано, що DFS-реалізація методу TLC характеризується істотно гіршою просторовою складністю вирішення задачі формальної верифікації (ФВ), у порівнянні із альтернативною BFS-реалізацією [13]. Питання оцінювання корисного ефекту від залучення мультипоточності залежно від застосовуваної реалізації методу, і, як результат, обґрунтування доцільності такого залучення по відношенню до заданого сценарію предметної області при цьому потребує подальшого розвитку.

Постановка завдання. У роботі ставиться завдання оцінити корисний ефект від залучення

мультипоточності до BFS- та DFS-реалізацій методу TLC. Як відповідний показник застосовується коефіцієнт прискорення:

$$\alpha = t_1 / t_{tc}, \quad (1)$$

де t_1 – час, витрачений на ФВ методом TLC за однопоточної реалізації, t_{tc} – за мультипоточної реалізації.

Під час вирішення поставленого завдання досліджуються дві альтернативні реалізації методу – на основі BFS- і DFS-обходів. Як предмет дослідження розглядається програмний складник системи критичного призначення, застосовуваної у космічній галузі. Це дозволить сформулювати рекомендації стосовно прикладного мультипоточного застосування кожної із реалізацій методу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як предметну сферу розглянемо космічну галузь, де предметом дослідження є система критичного призначення, представлена програмним складником бортового цифрового обчислювального комплексу (БЦОК). Відповідний сценарій предметної сфери полягає у дослідженні алгоритму контролю вихідного стану реєстрів модуля пристрою введення / виведення (ПВВ) БЦОК. Фрагмент відповідної блок-схеми алгоритму подано на рис. 1.

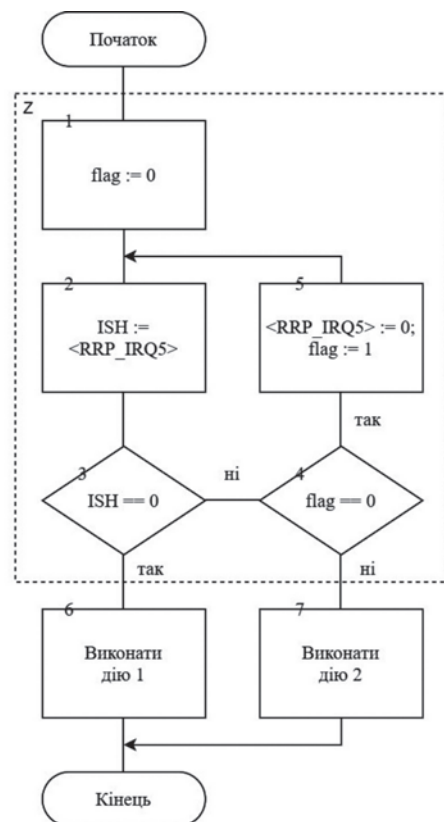


Рис. 1. Фрагмент блок-схеми алгоритму контролю вихідного стану реєстрів ПВВ

На рис. 1 пунктирною областю (позначено як Z) окреслено фрагмент блок-схеми, що повторюється 15 разів: $5 \cdot 15 = 75$ блоків. Блоки 6 і 7 при цьому демонструють альтернативні заключні кроки алгоритму. Після 15 зазначених фрагментів вони одержують, відповідно, номери 76 і 77. Кожен наступний фрагмент відрізняється від попереднього діями, виконуваними у блоках 2 і 5, де скобками $\langle i \rangle$ позначено опосередковану адресацію.

На рис. 1 фігурують три змінних стану: “flag”, “ISH”, “RRP_IRQ5”. Окрім того, аби імітувати виконання / невиконання блоків 6 і 7, введено додаткову змінну “done”: $s(done) \in \{0,1,2\}$, де $s \in S$ – стан системи переходів (СП), представленої структурою Кріпке [2].

Експериментальні дослідження проведено на програмно-апаратній платформі наступної конфігурації: середовище виконання – Java Runtime Environment (64 bit, build 1.8.0_251-b08); версія реалізації методу TLC – 2.14 (від 10 липня 2019 р.); центральний процесор – 4 ядра, 8 потоків, частота – 3,8 ГГц; обсяг ОП – 16 ГБ.

Методика проведення досліджень:

- провести ФВ ФС, фрагмент якої подано на рис. 1, спочатку BFS-, а потім – DFS-реалізацією методу TLC, що дасть змогу визначити глибину обходу СП – необхідний параметр для застосування DFS-реалізації методу;

- виміряти та порівняти часові витрати на використання одно- і мультипоточної реалізацій методу, розрахувавши коефіцієнти прискорення для мультипоточних реалізацій.

Характеристики ФС, використовуваної у якості вихідних даних для методу: число змінних станів – 15; глибина обходу простору станів СП (у вершинах) – 42; загальне число станів СП – $|S| = 184302$.

Здобуті результати подано у табл. 1, де t_{BFS} – часові витрати на ФВ BFS-реалізацією методу TLC, t_{DFS} – DFS-реалізацією методу. Кожне табличне значення є середнім арифметичним 10 замірів.

Із табл. 1 видно, що введення мультипоточності в BFS-реалізацію методу супроводжується

незначним ефектом – близько 26,2% для 8 потоків. При цьому для розглянутого випадку, в абсолютному вираженні BFS-реалізація методу є від 12,549 до 6,739 разів ефективнішою, у порівнянні із DFS-альтернативою. Це можна обґрунтувати як специфікою структури досліджуваної ФС, так і особливостями як алгоритмічного складника, так і програмних реалізацій відповідних обходів. Відомо, що для BFS-обходу зазвичай застосовується структура даних «черга», що функціонує згідно з правилами FIFO (First In First Out), а для DFS-обходу – стек, де діє правило LIFO (Last In First Out). Асимптотична обчислювальна складність для обох варіацій є однаковою [14].

Графічне подання здобутих даних представлено на рис. 2, де показано залежність значень коефіцієнтів прискорення від кількості обчислювальних потоків.

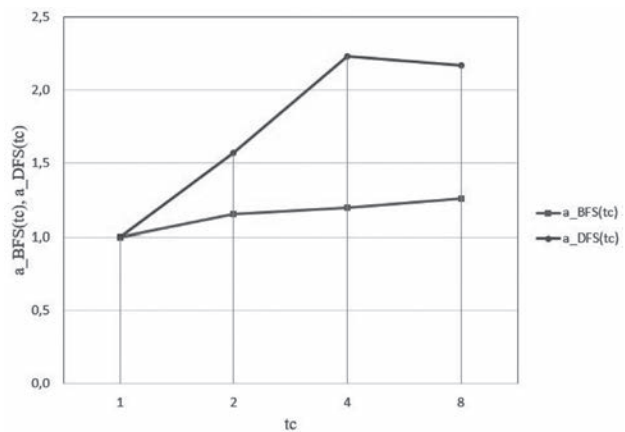


Рис. 2. Графік залежності значень коефіцієнтів прискорення від кількості обчислювальних потоків

Під час побудови рис. 2 застосовано кусочно-лінійну інтерполяцію.

З рис. 2 видно, що застосування мультипоточної DFS-реалізації методу супроводжується кращим ефектом: для $tc = 4$ одержано прискорення $\alpha = 2,230$. При цьому для $tc = 8$ здобуто гірший результат – $\alpha = 2,172$. Це можна пояснити специфікою тестової платформи – чотири обчислювальних

Таблиця 1

Результати дослідження мультипоточних реалізацій

№ з/п	tc	Реалізація методу				t_{DFS} / t_{BFS}
		BFS		DFS		
		t_{BFS}, c	α	t_{DFS}, c	α	
1	1	3,552	1,000	44,575	1,000	12,549
2	2	3,072	1,156	28,384	1,570	9,240
3	4	2,966	1,198	19,989	2,230	6,739
4	8	2,815	1,262	20,526	2,172	7,292

ядра з реалізацією технології “Simultaneous Multithreading”, що дозволяє одночасно виконувати два програмних потоки на одному обчислювальному ядрі процесора [1].

Отже, введення мультипоточності до DFS-реалізації методу TLC супроводжується істотно більшим корисним ефектом, у порівнянні із альтернативною BFS-реалізацією. Такий крок є обґрунтованим у разі співставних часових витрат для однопоточних BFS- і DFS-реалізацій методу.

Висновки. Таким чином, у роботі було проведено дослідження мультипоточної реалізації методу перевірки на моделі TLC на прикладі BFS- і DFS-варіацій. Здобуті результати полягають у наступному:

1. На прикладі сценарію розглянутої предметної області показано, що DFS-реалізація методу TLC забезпечує ліпші значення показника прискорення під час застосування мультипоточності. Найбільше значення названого показника було зафіксовано для чотирьохпоточної реалізації методу. Воно склало 2,230. При цьому для восьмипоточної реалізації методу було одержано гірший результат – 2,172.

2. У разі BFS-реалізації методу найліпший корисний ефект від залучення мультипоточності склав істотно менше значення – 1,262 – для восьмипоточної реалізації методу.

Отже, у разі співставності часових витрат для однопоточних BFS-і DFS-реалізацій методу TLC, рекомендується застосовувати мультипоточність саме для DFS-реалізації методу.

Озвучені результати можна пояснити наступними чинниками: специфікою програмної реалізації методів обходу вершин графу-системи переходів під час проведення перевірки на моделі; відмінністю концептуальних складників в основі методів обходу; обмеженнями апаратного складника тестової платформи (чотири обчислювальних ядра із підтримкою мультипоточності); структурою блок-схеми алгоритму, залученої у якості вихідних даних. У зв'язку із цим подальші дослідження спрямовано на узагальнення рекомендацій стосовно доцільності введення мультипоточності для тієї чи іншої реалізації методу TLC, враховуючи структуру вихідних даних.

Список літератури:

1. Тіменко А.В., Шкарупило В.В., Скрупський С.Ю., Смолій В.В. Дослідження шляхів підвищення пропускної спроможності підсистеми пам'яті сучасної обчислювальної системи. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. 2020. Том 31 (70), Ч. 1, № 2. С. 208–212. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-1/32>.
2. Clarke E.M., Grumberg O., Kroening D., Peled D., Veith H. *Model checking: 2nd ed.* Massachusetts: The MIT Press, 2018.
3. IEC 61508 Edition 2.0. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems. [Approved: April 2010]. URL: <https://www.iec.ch/functionalsafety/standards/page2.htm>. (Accessed: 19.11.2020).
4. ISO 26262:2018. Road vehicles. Functional safety. Part 1: Vocabulary. [Published: December 2018]. URL: <https://www.iso.org/standard/68383.html> (Accessed: 19.11.2020).
5. Шкарупило В.В., Євдокимов В.Ф., Душеба В.В. Застосування формальних методів для перевірки систем критичного призначення. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. 2019. Том 30 (69), Ч. 1, № 6. С. 188–193.
6. Lamport L. *Specifying systems: The TLA+ language and tools for hardware and software engineers*. Boston : Addison-Wesley, 2002. 382 p.
7. Newcombe C., Rath T., Zhang F., Munteanu B., Brooker M., Deardeuff M. How Amazon web services uses formal methods. *Communications of the ACM*. 2015. Vol. 58, No. 4. P. 66–73. DOI: <https://doi.org/10.1145/2699417>
8. Pakonen A., Buzhinsky I. Verification of fault tolerant safety I&C systems using model checking. *Industrial Technology, ICIT 2019: 2019 IEEE International Conference (Melbourne, Australia, 2019)*. 2019. P. 969–974. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIT.2019.8755014>
9. Resch S., Paulitsch M. Using TLA+ in the Development of a Safety-Critical Fault-Tolerant Middleware. *Software Reliability Engineering Workshops : Proc. 2017 IEEE International Symposium (Toulouse, France, 23–26 October 2017)*. P. 146–152. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISSREW.2017.43>.
10. Lamport L. Checking a multithreaded algorithm with +CAL. *Distributed Computing, DISC'06 : Proceedings of the 20th international conference (Stockholm, Sweden, September 18–20, 2006)*. P. 151–163. DOI: https://doi.org/10.1007/11864219_11.
11. Shkarupylo V. V., Tomičić I., Kasian K. M. The investigation of TLC model checker properties. *Journal of Information and Organizational Sciences*. 2016. Vol. 40, No. 1. P. 145–152.
12. Shkarupylo V. V., Tomičić I., Kasian K. M., Alsayaydeh J. A. J. An Approach to increase the Effectiveness of TLC Verification with Respect to the Concurrent Structure of TLA+ Specification. *International Journal of Software Engineering and Computer Systems*. 2018. Vol. 4, No. 1. P. 48–60. DOI: <https://doi.org/10.15282/ijsecs.4.1.2018.4.0037>

13. Шкарупило В.В., Чемерис О.А., Душеба В.В. Оцінювання просторової складності задачі формальної верифікації, вирішуваної методом перевірки на моделі. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. 2020. Том 31 (70) № 5. С. 147–151.

14. Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C. Introduction to algorithms: 3rd ed. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2009. 1320 p.

Shkarupylo V.V., Chemerys O.A., Dusheba V.V., Kudermetov R.K.

RESEARCH ON MULTITHREADED IMPLEMENTATION OF MODEL CHECKING METHOD FOR TEMPORAL LOGIC OF ACTIONS

Nowadays, multicore computing systems are broadly applied while diverse scientific-practical tasks resolving. One of the topical scenarios of such application is formal verification task solving – to check the correctness of project solutions obtained, in particular, during the development of safety-critical systems. The domain of safety-critical systems is among the demonstrative ones, because canonical instruments, e.g., testing, simulation, do not provide an opportunity to encompass all possible scenarios of system functioning. An effective solution in this case is model checking techniques usage. Named techniques are intended to be applied not to the system directly, but with respect to corresponding formal model, i.e. specification. Practical implementation of these methods implies traversing through the elements of total set of states of transition system, generated from specification. Such approach is coupled with an exponential growth of state space from the number of state variables. Corresponding verification-related time costs can be significantly reduced – by way of multithreaded implementation of model checking technique. Depending on specification structure and peculiarities of model checking technique implementation, the effect of multithreading bringing can vary significantly. This situation, in its turn, raises the question on the expediency of such step with respect to a particular scenario. Current work is devoted to a research in this direction – to formulate the recommendations to multithreaded implementation of model checking technique with respect to a specified applicability domain.

Because of being broadly adopted in industry, the TLC method has been examined in research. Two alternative method implementations grounding on checking the elements of state space by way of Breadth-first- and Depth-first-searches have been considered. Recommendations to practical multithreaded application of these implementations have been formulated.

Key words: BFS, DFS, TLC, multithreading, model checking, verification, safety-critical system.

Відомості про авторів

Батюк С.Г. – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Бережна О.Б. – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем і технологій Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця

Березюк І.А. – кандидат технічних наук, доцент, Центральноукраїнський національний технічний університет

Бунке О.С. – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Гайдай А.Ю. – кандидат технічних наук, доцент кафедри морського приладобудування Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

Гайдукевич С.В. – старший викладач кафедри «Електротехнологій та експлуатації енергообладнання» Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

Горошко А.В. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри фізики та електротехніки Хмельницького національного університету

Грешнов А.Ю. – доцент кафедри морського приладобудування Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

Гуйда О.Г. – старший викладач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Довжик Д.В. – магістрант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Душеба В.В. – кандидат технічних наук, доцент, в.о. завідувача відділу математичного та комп'ютерного моделювання Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова Національної академії наук України

Захарченко А.С. – аспірант кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Зубенко В.О. – кандидат технічних наук, доцент, Центральноукраїнський національний технічний університет

Ільченко О.М. – спеціаліст в галузі технічного захисту інформації, незалежний дослідник

Киричек Г.Г. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж Національного університету «Запорізька політехніка»

Кисельов В.Б. – доктор технічних наук, професор, заслужений працівник освіти України, директор навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Кисіль Т.М. – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування Хмельницького національного університету

Клименко К.О. – аспірант Науково-дослідного інституту інформатики і права Національної академії правових наук України

Костенко О.В. – аспірант Науково-дослідного інституту інформатики і права Національної академії правових наук України

Костень Т.Б. – аспірант кафедри комп'ютерної радіоінженерії та систем технічного захисту інформації Харківського національного університету радіоелектроніки

Красовський М.В. – аспірант кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування Хмельницького національного університету

Кудерметов Р.К. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж Національного університету «Запорізька політехніка»

Кузьма К.Т. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інформаційних технологій Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського

Лавданська О.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектування Черкаського державного технологічного університету

Левківський В.Л. – старший викладач кафедри комп'ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка»

Леськів Я.А. – магістр Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

Лисенко О.І. – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Любарець М.І. – молодший науковий співробітник відділу процесів горіння та газифікації вугілля Інституту вугільних енерготехнологій Національної академії наук України

Маринич І.А. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій Криворізького національного університету

Медведєв М.Г. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Медзятий Д.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування Хмельницького національного університету

Михалевський Д.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення Вінницького національного технічного університету

Морщ Є.В. – кандидат технічних наук, головний інспектор відділу аварійно-рятувальних служб та взаємодії з органами виконавчої влади управління техногенної безпеки Департаменту запобігання надзвичайним ситуаціям Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Паргальян А.С. – кандидат технічних наук, заступник начальника відділу екологічної безпеки та цивільного захисту Управління екологічної безпеки та протимінної діяльності Міністерства оборони України

Пількевич Ю.Г. – здобувач наукового ступеню, начальник відділу Київського національного університету будівництва і архітектури

Пономаренко С.О. – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Потапова К.Р. – кандидат технічних наук, доцент кафедри системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Прищепов Є.О. – інженер відділу процесів горіння та газифікації вугілля Інституту вугільних енерготехнологій Національної академії наук України, провідний економіст групи фінансового моделювання інвестиційних проектів та управління ризиками Дочірнього підприємства «Вуглесинтезгаз України»

Прокопенко Т.О. – кандидат технічних наук, доцент, Центральноукраїнський національний технічний університет

Радченко К.О. – асистент кафедри системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Розорінов Г.М. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри акустичних та мультимедійних електронних систем Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Рубан С.А. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій Криворізького національного університету

Самойленко М.Ю. – аспірант кафедри інтелектуальних програмних систем факультету кібернетики і комп'ютерних наук Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Семенова Н.П. – старший викладач кафедри «Електротехнологій та експлуатації енергообладнання» Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

Сердюк О.Ю. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій Криворізького національного університету

Степанець О.В. – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Стецюк В.М. – старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування Хмельницького національного університету

Тачиніна О.М. – доктор технічних наук, доцент, Національний авіаційний університет

Топал О.І. – старший науковий співробітник, кандидат технічних наук, завідувач відділу процесів горіння та газифікації вугілля Інституту вугільних енерготехнологій Національної академії наук України

Топчій Н.В. – науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

Федь Т.І. – студент 2-го курсу магістратури, групи ТА-91мп кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Чемерис О.А. – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова Національної академії наук України

Чубіч А.І. – магістр факультету комп'ютерних наук та технологій Національного університету «Запорізька політехніка»

Чумаченко С.М. – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри, Національний університет харчових технологій

Шарапова О.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної радіоінженерії та систем технічного захисту інформації Харківського національного університету радіоелектроніки

Шевченко С.С. – кандидат технічних наук, докторант Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова Національної академії наук України

Шкарупило В.В. – кандидат технічних наук, доцент, докторант Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова Національної академії наук України

Юсипів Т.В. – старший викладач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Яковлев Є.О. – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України

НОТАТКИ

Науковий журнал

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 31 (70) № 6 2020

Частина 1

Коректура • *Н. Пирог*

Комп'ютерна верстка • *Н. Кузнєцова*

Адреса редакції:

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

м. Київ, вул. Джона Маккейна, 33

Електронна пошта: editor@tech.vernadskyjournals.in.ua

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

Формат 60×84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсетний. Цифровий друк. **Обл.-вид. арк. 25,07.** Ум.-друк. арк. 21,86. Зам. № 0121/09

Підписано до друку 30.10.2020. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

03150, м. Київ, вул. Велика Васильківська 74, оф. 7

Телефон +38 (048) 709 38 69,

+38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: mailbox@helvetica.com.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.