International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students

об'єктно-орієнтовані технології

ЕОМ

КОНТРОЛЕР

ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ

МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА

ACTUAL PROBLEMS OF AUTOMATION AND CONTROL

conference materials

АСУ

АСУ ТП

ІНФОРМАЦІЙНА БАЗА

КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ЕОМ

інформаційні системи

Issue № 12 Lutsk - 2024

ОРГАНІЗАТОРИ

Луцький національний технічний університет, Луцьк (Україна)
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Вінницький національний технічний університет, Вінниця (Україна)
Кафедра автоматизації та та інтелектуальних інформаційних технологій

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль (Україна)
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ (Україна)
Факультет інженерних систем та екології

Люблінська Політехніка, Люблін (Польща)
Інститут електроніки та інформаційних технологій

Сальвадорський університет, Сальвадор (Бразилія)
Школа архітектури, інженерії та інформаційних технологій
Центр досліджень з моделювання проектів та процесів інженерії та інформаційних технологій

Політехнічний інститут Браганса, Браганса (Португалія)
Центр дослідження цифрових технологій та інтелектуальної робототехніки (CeDRI)
Кафедра механічних технологій

Таразський державний університет, Тараз (Казахстан)
Кафедра хімії і хімічних технологій

ORGANIZERS

Lutsk National Technical University, Lutsk (Ukraine)
Department of Automation and Computer - Integrated Technologies

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia (Ukraine)
Department of Automation and Intelligent Information Technologies

Ivan Puluj Ternopil National Technical University, Ternopil (Ukraine)
Department of computer-integrated technologies

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev (Ukraine)
Faculty of Engineering Systems and Ecology

Lublin University of Technology, Lublin (Poland)
Institute of Electronics and Information Technology

Salvador University, Salvador - Bahia (Brasil)
School of Architecture, Engineering and IT
Modeling and Simulation of Engineering Projects and Process Team

Bragança Polytechnic Institute (Portugal)
Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics (CeDRI)
Mechanical Technology Department

Taraz State University, Taraz (Kazakhstan)
Department of Chemistry and Chemical Technology

ГОЛОВА ПРОГРАМНОГО КОМІТЕТУ

І. ВАХОВИЧ – д.е.н., професор, ректор Луцького національного технічного університету (Україна)

ЗАСТУПНИК ГОЛОВИ

О. БІСІКАЛО – д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету (Україна)

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

А. МИКИТИШИН – к.т.н., доцент, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Україна)

Б. ПАЛЬЧЕВСЬКИЙ – д.т.н., професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету (Україна)

О. ПРИЙМАК – д.т.н., професор, декан факультету інженерних систем та екології Київського національного університету будівництва і архітектури (Україна)

В. ЛОТИШ – к.т.н., доцент, інженер з машинного навчання Wesub S.A., Варшава (Польща)

PAWEL KOMADA – доктор інженерії, заступник директора інституту електроніки та інформаційних технологій Люблінської Політехніки (Польща)

LEILA M.A. CAMPOS – інженер-хімік школи архітектури, інженерії та інформаційних технологій Сальвадорського університету (Бразилія)

MARIANA L. MURARI – професор центру досліджень з моделювання проектів та процесів інженерії та інформаційних технологій Сальвадорського університету (Бразилія)

LUÍS FRÖLÉN RIBEIRO – координатор професор кафедри механічних технологій Політехнічного інституту Браганса (Португалія)

PAULO LEITAO – координатор професор Політехнічного інституту Браганса; Координатор Центру дослідження цифрових технологій та інтелектуальної робототехніки (CeDRI) Політехнічного інституту Браганса (Португалія)

Б. МАСАЛИМОВА – к.х.н., завідувач кафедри хімії і хімічних технологій Таразського державного університету (Казахстан)

CHAIRMAN OF THE PROGRAM COMMITTEE

I. VAKHOVYCH – Doctor of Economic Sciences, Professor, Rector of Lutsk National Technical University (Ukraine)

DEPUTY CHAIRMAN

O. BISIKALO – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automation and Intelligent Information Technologies at Vinnytsia National Technical University (Ukraine)

PROGRAM COMMITTEE

A. MYKYTYSHYN – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Computer-Integrated Technologies, Ivan Puluj National Technical University of Ternopil (Ukraine)

B. PALCHEVSKYI - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies of Lutsk National Technical University (Ukraine)

O. PRYMAK – Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Engineering Systems and Ecology of Kyiv National University of Construction and Architecture (Ukraine)

V. LOTYSH - PhD, Associate Professor, Machine Learning Engineer, Wesub S.A., Warsaw (Poland)

PAWEL KOMADA - Doctor of Engineering, Deputy Director of the Institute of Electronics and Information Technology of Lublin University of Technology (Poland)

LEILA M.A. CAMPOS – Engineer Chemist of the School of Architecture, Engineering and IT of Salvador University (Brasil)

MARIANA L. MURARI – Professor of Modeling and Simulation of Engineering Projects and Process Team of Salvador University (Brasil)

LUÍS FRÖLÉN RIBEIRO – Coordinator Professor of Mechanical Technology Department of Bragança Polytechnic Institute (Portugal)

PAULO LEITAO – Coordinator Professor at Polytechnic Institute of Bragança; Coordinator of the Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics (CeDRI) of Bragança Polytechnic Institute (Portugal)

B. MASALIMOVA – Ph.D., Head of the Department of Chemistry and Chemical Technology of Taraz State University (Kazakhstan)

ГОЛОВА ОРГАНІЗАЦІЙНОГО КОМІТЕТУ

Р. ГРУДЕЦЬКИЙ – проректор з науково-педагогічної роботи та цифрової трансформації Луцького національного технічного університету

ЗАСТУПНИК ГОЛОВИ

О. ПОВСТЯНОЙ – д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

І. КОНДІУС – к.е.н., доцент, декан факультету комп'ютерних та інформаційних технологій Луцького національного технічного університету

Л. ГУМЕНЮК – к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету

П. ГУМЕНЮК – к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету

О. РЕШЕТИЛО – к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету

Ю. ЛАПЧЕНКО – к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету

CHAIRMAN OF THE ORGANIZING COMMITTEE

R. GRUDETSKYI – Vice-Rector for Scientific and Pedagogical Work and Digital Transformation of Lutsk National Technical University

DEPUTY CHAIRMAN

O. POVSTIANOI - DSn, professor, Head of the Department of Automation and Computer - Integrated Technologies of Lutsk National Technical University

ORGANIZING COMMITTEE

I. KONDIUS - Ph.D., Associate Professor, Dean of the Faculty of Computer and Information Technology of Lutsk National Technical University

L. GUMENIUK - Ph.D., Associate Professor of the Department of Automation and Computer - Integrated Technologies of Lutsk National Technical University

P. HUMENIUK - Ph.D., Associate Professor of the Department of Automation and Computer - Integrated Technologies of Lutsk National Technical University

O. RESHETYLO - Ph.D., Associate Professor of the Department of Automation and Computer - Integrated Technologies of Lutsk National Technical University

Y. LAPCHENKO - Ph.D., Associate Professor of the Department of Automation and Computer - Integrated Technologies of Lutsk National Technical University

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ «АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТОТЕХНІКА»

Грудецький Р.Я., Турич В.Ю., Сацик В.О. Сучасні можливості та перспективи впровадження ERP-системи ODOO у закладах вищої освіти: досвід Луцького національного технічного університету ……. 7

Марціленко С. В. Типи автоматизованих систем БПЛА. Переваги і недоліки у порівнянні з системами, керованими операторами …… 12

Полешко Т. І., Богунов Р. В., Назарова О. С. Дослідження системи керування роботизованою мобільною платформою на базі MICRO:BIT …….. 16

Русяк О. Г., Назарова О. С. Інтелектуальне керування складними електромеханічними системами …….. 20

Сацик В. О., Маркіна Л. М., Сильчук О.О. Порівняльний аналіз програмного забезпечення для обробки знімків з БПЛА …… 24

Фетісенко С. В., Гуменюк Л. О. Алгоритми групової поведінки роботів …….. 29

СЕКЦІЯ «АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ У СФЕРІ ОСВІТИ, НАУКИ ТА ВИРОБНИЦТВА»

Вовк М. А., Гуменюк П. О., Вашкурак Ю. З. Автоматизована система керування технологічним процесом виготовлення виноматеріалу для сухих вин . 32

Герасимчук П. В., Федік Л. Ю., Смолянкін О. О., Маркіна Л. М. Перспективи та виклики виробництва біогазу з сільськогосподарських відходів …… 35

Герасимчук А. В., Федік Л. Ю., Смолянкін О. О., Маркіна Л. М. Технологічний процес виділення ізобутилену як ключового продукту нафтохімії: огляд і перспективи автоматизації систем контролю і регулювання технологічних параметрів ……. 37

Мачуга О. І., Решетило О. М., Смолянкін О.О., Маркіна Л. М., Сацик В. О. Аспекти підвищення ефективності виробництва спирту завдяки автоматизації технологічного процесу приготування замісу …… 41

Решетило О. М., Лапченко Ю. С., Цесар В. Р. Автоматизована система керування технологічним процесом очистки стічних вод автомийки …… 44

Решетило О. М., Маркіна Л. М., Ярошик М. М. Автоматизована система керування технологічним процесом виробництва силікатної цегли …… 52

Решетило О. М., Сацик В. О., Самелюк О. І. Автоматизована система керування приточно-витяжною вентиляцією лікарні …… 59

Сауляк М. М., Гуменюк П. О. Автоматизована система керування технологічним процесом виготовлення вапна …… 69

СЕКЦІЯ «МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ»

Місько В. М., Гуменюк Л. О. Автоматизація сегментації медичних зображень . 73

Приступа С. О., Кахнич М. М., Хорошенко А. А. Функціональні можливості CAN-шини в автомобілях ……. 75

Приступа С. О., Ткачук А. А., Павлюк А. Ю. Технологія та функціональні рівні розумних парковок на базі IoT …….. 80

Сирота Ю. Г., Гуменюк Л. О. Моделювання перехоплювальної площинної автостоянки …… 85

Стьопкін В. В., Опалько А. В., Гаркунов В. А. Розробка системи керування автоматизованим електроприводом у TIA Portal SIEMENS ……. 88

СЕКЦІЯ «ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»

Денисюк В. Ю. , Ящук А. А. Аналіз методів та моделей оцінки параметрів користувача інформаційної системи …….. 93

Пальчевський Б. О., Решетило О. М., Лапченко Ю. С., Пілецький А. М. Аналіз технологічного процесу дозування сипких продуктів …….. 102

Смолянкін О. О., Повстяна Ю. С., Маркіна Л. М., Сацик В. О. Розпізнавання об’єктів на основі нейронних мереж: сучасні виклики та перспективи розвитку . 110

СЕКЦІЯ «АВТОМАТИКА В ЕЛЕКТРОНІЦІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ»

Головницький А. В. Аналіз використання штучного інтелекту в аналізі радіосигналів для покращення якості зв’язку ……. 113

Лишук В. В., Калуш Р. М. Перспективи проектування перетворювачів електричних сигналів …… 116

Мороз С. А., Максимчук Р. С. Аналіз принципів детектування виникнення полум’я за допомогою сенсорів інфрачервоного випромінювання ……. 119

Селепина Й. Р., Стасюк В. В., Долинський І. Є. Оцінка впливу затухання широкосмугових режекторних фільтрів прийомо-передаючих комплексів низькоорбітального супутникового зв'язку на їх дальність дії …… 123

СЕКЦІЯ «ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

Завидний А. Д., Завидний Д. А., Назарова О. С. Застосування штучного інтелекту для автоматизації процесу калібрування приладів …….. 128

Лишук В. В., Левчук О. О. Методика рефлектометричних вимірювань в задачах телекомунікацій …… 131

СЕКЦІЯ «МІКРО- ТА НАНОСИСТЕМНА ТЕХНІКА»

Андрусик І. В., Лапченко Ю. С. Структурні властивості кремнієвих наноструктур, отриманих методом електрохімічного травлення …… 135

Денисюк В. Ю. , Кібиш О. Д. Аналіз методів лазерного термохімічного запису зображень на тонких металевих плівках …… 139

Симонюк В. П., Мартинюк П. Р., Палій В. О. До постобробки 3D-друкованих виробів та корисність застосування абразивних і вібраційних операцій …… 147

Решетило О. М., Повстяна Ю. С. Розробка програмно-апаратного комплексу пасивної системи безпеки легкового автомобіля при його обгоні або випередженні ……. 151

Шевчук С.О., Лапченко Ю.С., Решетило О.М. імпульсна лазерна фотоіонізація …….. 163

Пальчевський Б. О., Решетило О. М., Лапченко Ю. С., Павлів М. І. Аналіз і класифікація конструкцій мультиголовочних дозаторів …….. 167

Журавський О. Б., Гуменюк П. О. Автоматизація бізнес-процесів у сфері управління складом мережі інтернет-магазинів …… 173

Остапчук Д. В.,. Федік Л. Ю, Смолянкін О. О., Маркіна Л. М., В. О.Сацик Розвиток виробництва соєвих продуктів: інноваційні підходи до використання клітковини з висівок сої у виробництві соєвого соусу ……. 175

СЕКЦІЯ «АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТОТЕХНІКА»

УДК 004.896:378.4
Грудецький Р.Я., Турич В.Ю., Сацик В.О.
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

СУЧАСНІ МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ERP-СИСТЕМИ ODOO У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ: ДОСВІД ЛУЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ.

У статті розглядається роль та можливості які надає використання автоматизованої системи управління ресурсами (АСУР) у закладах вищої освіти (ЗВО) для оптимізації адміністрування, поліпшення якості обслуговування здобувачів та спрощення процесів управління. Також в статті наводиться порівняльний аналіз рішень, таких як "ERP SAP", "ERP NEXT" та "ERP Odoo", і оцінюються їхні можливості та обмеження в контексті використання в закладах вищої освіти. Досліджуються ключові переваги впровадження АСУР на основі "ERP Odoo" та потенційні виклики, зокрема питання інтеграції даної системи з електронним кабінетом студента, підготовки персоналу та забезпечення безпеки даних. Окремо виділено процес впровадження "ERP Odoo" для вирішення поточних адміністративних потреб закладів вищої освіти на прикладі розробленого рішення для Луцького національного технічного університету.
Ключові слова: автоматизоване управління, система управління ресурсами, ERP.

R.Y Grudetsky, V.Y Turych., V.O.Satsyk. Modern possibilities and prospects of implementing the Odoo ERP system in higher education institutions: the experience of Lutsk National Technical University. The article examines the role and opportunities provided by the use of an automated resource management system (ASUR) in higher education institutions (HEIs) to optimize administration, improve the quality of service to applicants, and simplify management processes. The article also provides a comparative analysis of solutions such as "ERP SAP", "ERP NEXT" and "ERP Odoo", and assesses their capabilities and limitations in the context of use in higher education institutions. The key advantages of implementing ASUR based on "ERP Odoo" and potential challenges are investigated, in particular the issues of integrating this system with the student's electronic cabinet, staff training, and ensuring data security. The process of implementing "ERP Odoo" to address the current administrative needs of higher education institutions is separately highlighted using the example of a solution developed for Lutsk National Technical University.
Keywords: automated management, resource management system, ERP.

Постановка проблеми. Сучасні заклади вищої освіти стикаються з необхідністю підвищення ефективності управлінських процесів та покращення якості обслуговування здобувачів. У цій статті розглядається роль та впровадження АСУР, яка покликана значно спрощувати процеси адміністрування. Впровадження АСУР, як показує практика, гарантовано забезпечує спрощення процедур адміністрування, управління фінансами, контролю за виконанням навчальних планів, організації підтримки вирішення та стимулювання процесу індивідуального навчання здобувачів.

Аналіз існуючих рішень. У статті розглядається ряд ERP-систем, які можуть бути використані для автоматизації ресурсного планування в навчальних закладах. Основну увагу зосереджено на таких рішеннях, як "ERP SAP", "ERP Next" та"EPR Odoo". Кожна з цих систем пропонує своєрідний підхід до управління ресурсами та має ряд своїх недоліків та переваг, які проявляються в залежності від структури та потреб організації.

"ERP SAP" пропонує потужну інфраструктуру для великих організацій і має модулі, що спеціально адаптовані для сфери бізнесу. Однак SAP є комерційним продуктом, і вартість його впровадження та обслуговування може бути значною, що робить його менш доступним для університетів з обмеженим бюджетом.

"ERP NEXT" є системою з відкритим кодом, яка надає функціональність для управління ресурсами в організаціях. Система також пропонує модулі для навчальних закладів, однак її

функціонал менш адаптований до потреб великих університетів і вимагає додаткового налаштування для відповідності академічним процесам.[1]

“ERP Odoo” на відміну від вище розглянутих систем є одним з найпопулярніших безкоштовних ERP-рішень з відкритим кодом, яка широко підтримується розробниками - волонтерами, різними організаціями, завдяки чому досягається максимальна ефективність використання системи, гнучкість впровадження та її масштабованість. “ERP Odoo” дозволяє легко налаштовувати систему під конкретні потреби університету та надає широкий спектр модулів, таких як:

●Employee – для створення структури університету (декан-куратор-студент) з можливістю перегляду ієрархії груп та курсів, кафедр, факультетів, структурні підрозділи.

●Website та Helpdesk – створення онлайн-порталу зворотного зв’язку здобувача з ЗВО, де здобувачі можуть подати запит на підтримку з будь-яких питань, пов'язаних з навчанням.

●Sales та Invoicing – для автоматизації процесів фінансового управління, укладання контрактів (здобувач-університет), створення рахунків згідно контрактів та контролю за платежами.

Вибір рішення. Серед доступних рішень для автоматизованого управління ресурсами (ERP-систем) було розглянуто кілька платформ, зокрема “ERP SAP”, “ERP Next” та “ERP Odoo”. Кожна з цих систем має свої переваги, однак для автоматизації освітніх процесів університету найбільш оптимальним варіантом було обрано як вказано вище “ERP Odoo”. Основні передумови даного вибору:

●відкритий код та безкоштовна версія – “ERP Odoo” доступний у вигляді CommunityEdition, яка є безкоштовною, а також має відкритий код, що дозволяє знизити витрати на ліцензування та модифікувати систему відповідно до власних потреб;

●“ERP Odoo” надає розширені можливості для кастомізації, розробки додаткових модулів та інтеграції. Це особливо важливо для ЗВО, який має специфічні вимоги до автоматизації процесів, таких як управління контрактами здобувачів та формування платіжних зобов’язань;

●“ERP Odoo” підтримує API для інтеграції з іншими інформаційними системами університету, такими як електронний кабінет студента, що дозволяє автоматично оновлювати дані здобувачів, груп, курсів, кафедр, факультетів.

●“ERP Odoo” дозволяє впровадити процес стимулювання науково-дослідної роботи індивідуального підходу здобувача;

●простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс дозволяє легко адаптувати систему для використання різними групами користувачів: від здобувачів, викладачів до адміністративного персоналу [3].

Окрім того, “ERP Odoo” — це сучасна модульна ERP (EnterpriseResourcePlanning) система яка призначена для автоматизації бізнес-процесів у різних галузях. Вона відома своєю гнучкістю, широким спектром функціональних можливостей і доступністю як для малого, так і великого бізнесу та різного роду організацій і ЗВО зокрема. Варто відмітити, що даною системою також користується Товариство Червоного Хреста України, інші громадські організації. Система дозволяє інтегрувати всі аспекти діяльності організації в єдину платформу, сприяючи підвищенню ефективності та прозорості управління. “ERP Odoo” виникла як результат прагнення до створення універсального рішення для автоматизації бізнес-процесів. Її історія починається в 2005 році, коли була заснована компанія TinySprl, яка згодом змінила свою назву на Odoo S.A.

Сьогодні “ERP Odoo” є однією з найбільш популярних ERP-систем у світі. Вона використовується тисячами компаній у різних галузях, від малого бізнесу до великих корпорацій. Odoo продовжує розвиватися, додаючи нові модулі і удосконалюючи вже існуючі. Завдяки активній спільноті розробників, система залишається в центрі уваги для користувачів, що шукають гнучке, масштабоване та економічне рішення для автоматизації бізнес-процесів.

Одним із ключових аспектів розвитку “ERP Odoo” є постійне оновлення та покращення версій. З 2014 року “ERP Odoo” випускає нові версії щорічно, що дозволяє покращувати функціональність та зручність користування. У жовтні 2024 року було випущено “ERP Odoo 18”, яка принесла нові можливості для інтеграції, управління даними та налаштувань.

Впровадження систем ERP, таких як Odoo, пропонують значні переваги, включаючи можливість генерувати фінансові звіти в режимі реального часу та відстежувати грошові потоки відповідно до логістичної діяльності компанії.[4]

Основні характеристики “ERP Odoo”:

●модульність: “ERP Odoo” пропонує понад 30 основних додатків (включаючи CRM, бухгалтерію, управління проектами, склад, закупівлі, маркетинг) і тисячі додаткових модулів, створених спільнотою. Це дозволяє адаптувати систему до потреб конкретної організації;

●гнучкість та налаштованість: “ERP Odoo” підналаштовується до будь-якої галузі: торгівлі, виробництва, освіти, охорони здоров’я, тощо. Завдяки відкритому коду, система дозволяє розробляти кастомізовані рішення, що відповідають специфічним вимогам;

●система інтегрованість: всі модулі “ERP Odoo” взаємопов’язані, що забезпечує безперервну динамічність процесів і обмін даними між різними департаментами;

●відкритий код: наявність CommunityEdition з відкритим кодом робить “ERP Odoo” привабливим для малого бізнесу і стартапів, які прагнуть автоматизувати свою діяльність із заощадженням ресурсів;

●доступність: “ERP Odoo” має веб-інтерфейс, який забезпечує можливість активності незалежно від часу, простору та пристрою [5].

Процес взаємодії основних компонентів архітектури наведено на рисунку 1.

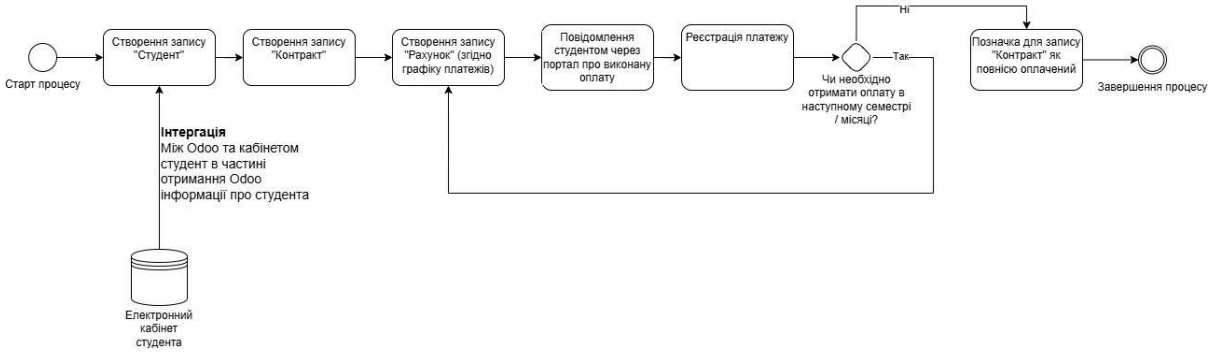


Рисунок 1. Діаграма основного процесу роботи з контрактом

Реалізація рішення. Процес впровадження ERP-системи Odoo складався з декількох етапів, що забезпечує поступовість налаштування та оптимізації системи відповідно до потреб організації:

●підготовка серверного середовища та налаштування інфраструктури: система набуває стану розгорнутості після встановлення операційної системи LinuxUbuntu 24.04, веб-сервера NGINX та бази даних PostgreSQL 14, що забезпечує надійність та безпеку роботи платформи;

●налаштування основних модулів: у відповідності до інсталяції встановлено стандартні модулі “ERP Odoo” управління веб сайтом, контрактами, управлінсько-адміністративним обліком, службою підтримки та іншими функціями. Модулі були обрані таким чином, щоб охопити основні освітні та адміністративні процеси університету, включаючи обробку контрактів зі студентами та науково-дослідної роботи індивідуального підходу здобувача;

●інтеграція з електронним кабінетом студента: на основі REST API здійснено налагодження обміну даними системи з електронним кабінетом студента, що дозволило в свою чергу синхронізувати інформацію про здобувачів, групи, курси, кафедри факультети, структурні підрозділи ітим самим забезпечити автоматизацію левової частки ручної роботи та уникнути помилок у веденні документації;

●розробка кастомних функцій: для реалізації специфічних функцій університету були розроблені та інтегровані додаткові модулі. Наприклад, було створено модуль для обробки заявок на підтримку від користувачів (студентів, викладачів та адміністрації), що полегшує спілкування та вирішення технічних питань;

●тестування та навчання персоналу: після початкового налаштування була проведена серія тестів для перевірки коректності роботи всіх модулів і процесів. Також було проведено навчання користувачів, що дало змогу персоналу університету ознайомитись із можливостями системи та налаштувати її під повсякденні потреби;

Функції “ERP Odoo”, які адаптовані до потреб Луцького національного технічного університету. “ERP Odoo” який одночасно забезпечує комплексний набір стандартних функцій, що охоплюють різноманітні аспекти діяльності освітньої установи разом з тим, сприяє підвищенню ефективності комунікаційній взаємодій між учасниками освітнього процесу.

Основні функції, що використовуються у діяльності університету, включають:

● управління інформацією про здобувачів: “ERP Odoo” дозволяє зберігати та організовувати дані про актуальну інформацію здобувачів: групу, курс, кафедра, факультет, форму навчання тощо. Це дає змогу адміністрації університету зручно отримувати актуальну інформацію про слухачів в режимі реального часу, що сприяє кращому управлінню освітнім процесом;

● облік контрактів між університетом та здобувачами: завдяки модулю для управління контрактами система надає можливість створювати та відстежувати договори між університетом і здобувачами на надання освітніх послуг, що дозволяє здійснювати контроль за укладанням договорів, моніторингом їх виконання, а також забезпечує прозорість фінансових операцій;

● фінансове управління та платіжні рахунки: “ERP Odoo” автоматизує процес формування та відправлення платіжних рахунків здобувачам, що значно зменшує навантаження на бухгалтерію. Здобувачі можуть підтверджувати здійснені платежі та завантажувати квитанції через особистий кабінет, що забезпечує зручність і прозорість фінансових операцій;

● модуль Helpdesk для підтримки запитів: система надає можливість студентам створювати запити щодо різноманітних аспектів навчального процесу, адміністративних або технічних питань. Це дає змогу адміністрації оперативно реагувати на проблеми та запити, покращуючи рівень підтримки здобувачів та забезпечуючи зворотній зв'язок;

● управління доступом та безпекою: “ERP Odoo” включає функцію управління доступом для різних категорій користувачів — здобувачів, викладачів, керівників структурних підрозділів та адміністрації. Це дозволяє регулювати доступ до чутливої інформації та внутрішніх ресурсів університету, що забезпечує належний рівень безпеки даних;

● управління навчальними процесом: система дозволяє адміністраторам університету в разі необхідності створювати та редагувати на даній платформі навчальні програми та відслідковувати їх виконання. Викладачі можуть отримувати інформацію про студентів, їх успішність, відвідуваність та участь у навчальних заходах, що сприяє поліпшенню моніторингу навчального процесу;

● інтеграція з іншими системами та модулями: “ERP Odoo” має можливість інтеграції з іншими зовнішніми системами через API, що дозволяє підключати додаткові інструменти для управління навчальним процесом, інформацією про студентів, а також для автоматизації інших аспектів діяльності університету.

Ці функції роблять систему “ERP Odoo” важливим інструментом для університетів, оскільки вони забезпечують оптимізацію внутрішніх процесів, автоматизацію адміністративних завдань і покращення взаємодії з усіма учасниками освітнього процесу. Використання “ERP Odoo” дозволяє підвищити ефективність і прозорість роботи університету, що є ключовим для сучасної освітньої установи.

Інтерфейс користувача

Інтерфейс рішення складається з таких розділів:

1. Головна сторінка внутрішнього користувача.
2. Модуль «Контракти»:
- управління «освітніми послугами»;
- управління цінами та варіативність послуг;
- створення контракту;
- налаштування вартості послуг;
- список послуг.
3. Модуль «Виставлення рахунків»:
- створення рахунку до контракту (Рисунок 3);
- реєстрація оплати за навчання (Рисунок 4).
4. Модуль «Працівники»:
- управління працівниками (Рисунок 5);
- створення працівників.
5. Користувачі:
- керування користувачами;
- сторінка користувача.
6. Портальний доступ:
- головна сторінка;
- сторінка користувача;
- сторінка створення запиту до підтримки.

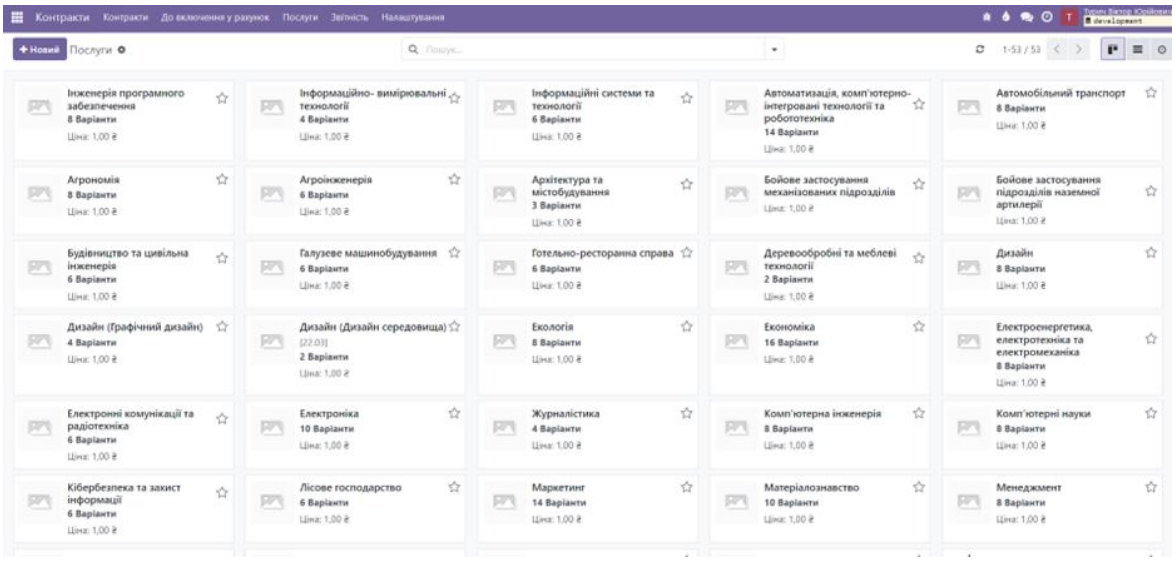


Рисунок 3. Створення рахунку

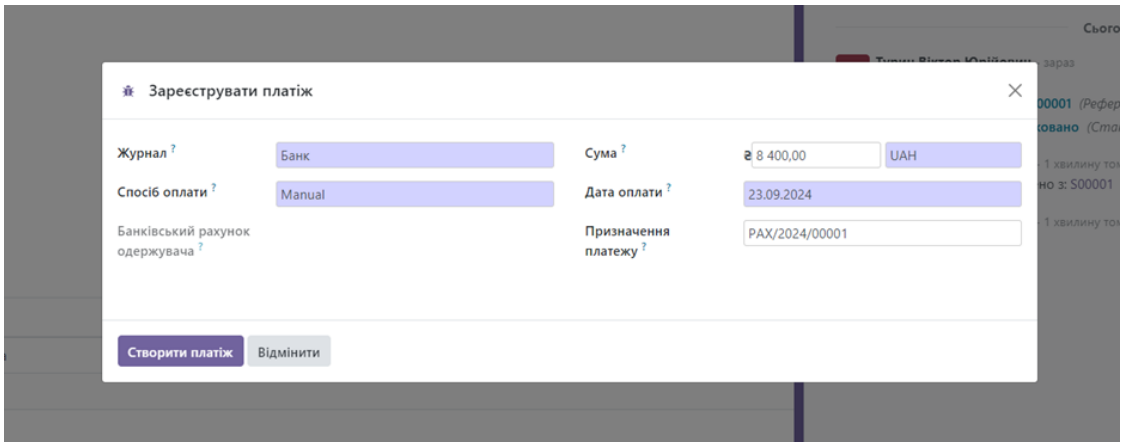


Рисунок 4. Реєстрація оплати за навчання

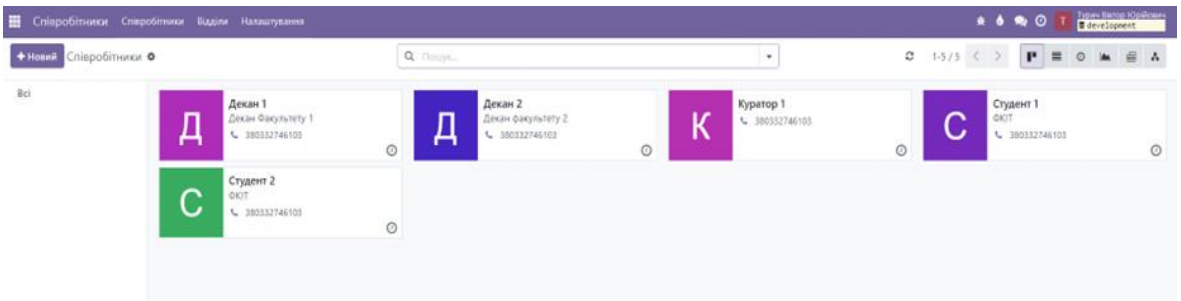


Рисунок 5. Список працівників університету / здобувачів

Висновок. В даній статті розглянуто автоматизовані системи управління ресурсами, які мають великий потенціал для підвищення ефективності та покращення якості обслуговування у закладах вищої освіти. На основі проведеного детального аналізу систем “ERP SAP”, “ERP NEXT” та “ERP Odoo” було визначено, що кожна з цих систем пропонує своєрідний підхід до управління ресурсами та має ряд своїх недоліків та переваг, які проявляються в залежності від структури та потреб організації. Виходячи з проведеного аналізу був здійснений обґрунтований вибір на користь “ERP Odoo”, як найбільш оптимального рішення для структурних підрозділів закладу вищої освіти, так як система забезпечує значні переваги, включаючи можливість генерувати фінансові звіти в режимі реального часу та відстежувати грошові потоки відповідно до укладених контрактів.

Впровадження “ERP Odoo” для Луцького національного технічного університету має ряд

позитивних переваг, а саме:

- управління інформацією про здобувачів: “ERP Odoo” дозволяє зберігати та організовувати дані про актуальну інформацію здобувачів: групу, курс, кафедра, факультет, форму навчання тощо. Це дає змогу адміністрації університету зручно отримувати актуальну інформацію про слухачів в режимі реального часу, що сприяє кращому управлінню освітнім процесом;
- облік контрактів між університетом та здобувачами: завдяки модулю для управління контрактами система надає можливість створювати та відстежувати договори між університетом і здобувачами на надання освітніх послуг, що дозволяє здійснювати контроль за укладанням договорів, моніторингом їх виконання, а також забезпечує прозорість фінансових операцій;

Ці функції роблять систему “ERP Odoo” важливим інструментом для університетів, оскільки вони забезпечують оптимізацію внутрішніх процесів, автоматизацію адміністративних завдань і покращення взаємодії з усіма учасниками освітнього процесу. Використання “ERP Odoo” дозволяє підвищити ефективність і прозорість роботи університету, що є ключовим для сучасної освітньої установи.

Представлено діаграму основного процесу роботи з контрактом на якій представлено взаємодію основних архітектурних елементів розробленої системи “ERP Odoo” в Луцькому національному технічному університеті.

Розроблена система на базі “ERP Odoo” для Луцького національного технічного університету є наглядним прикладом того, як АСУР забезпечують автоматизацію рутинних процесів, удосконалення аналітичної можливості в частині управлінського обліку, обліку контрактів між університетом та здобувачами, моніторингу здійснення вчасної оплати здобувачами за надані освітні послуги та дозволяє впровадити процес стимулювання науково-дослідної роботи індивідуального підходу здобувача тощо.

Подальше сервісне обслуговування та масштабування в ході поточної роботи системи забезпечують можливість, в разі виникнення необхідності, здійснювати покращення функціоналу системи на основі отриманих пропозицій та потреб університету.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Порівняльний аналіз ERP систем на базі Odoo та SAP на офіційному веб-сайт odoo.com. URL: https://www.odoo.com/page/odoo-vs-SAP-business-on (дата звернення: 15.11.2024).

2. Офіційний веб-сайт “ERP Odoo”. URL: https://www.odoo.com (дата звернення: 10.11.2024).

3.ERP System, unravelingtheevolutionandtransformativeimpactonpt. xyz URL: https://journal.ipm2kpe.or.id/index.php/COSTING/article/view/12775 (дата звернення: 15.11.2024).

4. Daudi H., Parth G. (2024).Odoo DevelopmentCookbook: Buildeffectivebusinessapplicationsusingthelatestfeaturesin Odoo 17 5th ed. Edition. pp. 12-40, 178-194.

4. Автоматизація обліку. URL: https://buhgalter911.com/uk/programmy/avtomatizaciya-ucheta (дата звернення: 10.16.2024).

5. Хіміч С. (2023). Впровадження ERP-систем: вдосконалення управління цифровізацією бізнес процесів підприємства, 51-56. https://doi.org/10.32689/2523-4536/72-8. (дата звернення: 17.11.2024).

УДК 629.7

С. В. Марціленко
Приватний вищий навчальний заклад "Європейський університет"
E-mail: s.marcilenko@e-u.edu.ua

ТИПИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ БПЛА. ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ У ПОРІВНЯННІ З СИСТЕМАМИ, КЕРОВАНИМИ ОПЕРАТОРАМИ

У даній роботі досліджено типи автоматизованих систем БПЛА з метою їх порівняння із системами, що керуються за допомогою операторів. В результаті дослідження було виділено основні переваги та недоліки таких систем, розглянуто рішення, які використовуються в автономних системах та описано більш детально технологію кінематичного GPS у реальному часі (RTK — Real Time Kinematic), на базі якого можна вирішити існуючі проблеми.

Ключові слова: автоматизовані системи БПЛА, безпілотні літальні апарати, керування, системи, технології, застосування.

S. Martsilenko. Types of automated UAV systems. Advantages and disadvantages compared to operator-controlled systems. In this work, the types of automated UAV systems are investigated in order to compare them with systems controlled by operators. As a result of the study, the main advantages and disadvantages of such systems were highlighted, the solutions used in autonomous systems were considered, and the real-time kinematic GPS (RTK — Real Time Kinematic) technology was described in more detail, on the basis of which existing problems can be solved.

Keywords: automated UAV systems, unmanned aerial vehicles, control, systems, technologies, applications.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день Україна розробляє літальні апарати різного типу, включаючи безпілотні літальні апарати (БПЛА). БПЛА — це авіаційна техніка без участі пілота, що призначена для виконання завдань, аналогічних пілотованим літальним апаратам. Особливо перспективним є використання систем БПЛА для логістичного забезпечення. Автоматизація даних систем має свої переваги та недоліки у порівнянні із комплексами, керованими операторами, що викликає необхідність у пошуку оптимальних технологічних рішень для ефективного виконання завдань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Автоматизовані системи безпілотних літальних апаратів (БПЛА) можна розділити за рівнем автономності та складністю виконуваних завдань:

1. Автономні системи — це безпілотні комплекси, які можуть виконувати завдання без прямого втручання людини. Вони використовують вбудовані алгоритми для навігації, планування польотів, виявлення перешкод, збору даних тощо.

Перевагами даного типу систем є висока ефективність та продуктивність, відсутність людського фактору у керуванні, можливість роботи в небезпечних умовах та економія ресурсів в контексті навчання операторів. Такі БПЛА можуть працювати без зупинки тривалий час, що дозволяє виконувати завдання на дальніх відстанях та в екстремальних умовах, небезпечних для людини (бойові дії, радіоактивні зони, під час природних катастроф), потребують невеликих витрат на навчання операторів.

До недоліків можна віднести обмежену гнучкість, високу вартість розробки та підтримки, залежність від датчиків та алгоритмів: Автономні системи можуть мати проблеми з адаптацією до непередбачуваних ситуацій або складних умов, де потрібна миттєва реакція оператора. У своїй розробці вони потребують передових технологій, що підвищує їх вартість. Нестабільні покази або вихід з ладу датчиків, які система використовує для навігації, в залежності від погодних умов, а також можливі помилки в програмному забезпеченні можуть призвести до збоїв або некоректних дій.

2. Напівавтономні системи поєднують автономні функції з можливістю втручання оператора. Оператор може коригувати роботу системи в певних ситуаціях.

Поєднання автоматизованого управління з втручанням оператора дає можливість швидко адаптуватися до змінних умов. Оператор може швидко втрутитися в роботу системи у разі необхідності. Але, в той же час, системи залежать від надійності зв'язку між БПЛА і оператором, особливо в умовах надзвичайних ситуацій. Оператори повинні мати спеціальні знання і вміння для ефективного управління, тому тривалість навчання є недоліком даної системи, тому напівавтономні системи потребують великих як на розробку самих комплексів, так і на спеціалізоване навчання операторів.

3. Системи з повним дистанційним керуванням оператором передбачають повний контроль над БПЛА з боку оператора через пульт дистанційного керування. З одного боку, оператор має можливість повністю керувати БПЛА та приймати рішення в режимі реального часу, негайно реагувати на непередбачувані зміни обстановки, а розробка таких комплексів не потребує великих затрат та використання передових технологій. З іншого боку, присутні ризики помилок через людський фактор та залежність від якості зв'язку [1, 2].

Таблиця 1 — Порівняння автоматизованих систем та систем, керованих операторами

Характеристика	Автоматизовані системи	Системи, керовані операторами
Точність роботи системи	Висока (особливо з RTK)	Залежить від кваліфікації оператора
Гнучкість роботи системи	Залежить від програмного та апаратного забезпечення	Висока, оператор може коригувати роботу системи, але існує ймовірність помилки
Ресурси на розробку та запуск	Більш висока вартість через високу технологічність	Низька вартість розробки через низьку технологічність, витрати на навчання операторів
Безпека	Залежить від програмного та апаратного забезпечення	Залежить від кваліфікації оператора
Складність керування	Висока, потребує технічних знань	Низька, більш проста для користувача
Ймовірність помилки у керуванні через людський фактор	Відсутня	Присутня

Постановка завдання. На основі проведеного аналізу було визначено, що автоматизовані системи не у всіх випадках мають переваги перед системами, керованими за допомогою операторів. Для підвищення стабільності роботи автономних систем існує ряд технологій, які можна застосувати під час їхнього проєктування та налаштування, зокрема технології для забезпечення навігації, орієнтування в просторі, уникнення перешкод тощо.

1. Технології навігації:

GNSS (Global Navigation Satellite System) - технологія, що використовується для визначення позиції БПЛА. Системи, такі як GPS, GLONASS, Galileo, забезпечують глобальне позиціонування.

RTK GPS (Real Time Kinematic GPS) — технологія, яка підвищує точність GNSS, забезпечуючи сантиметрову точність за рахунок корекційних даних з наземних станцій [3].

2. Технології орієнтування в просторі:

IMU (Inertial Measurement Unit) — технологія, що використовує акселерометри та гіроскопи для визначення положення, швидкості та орієнтації БПЛА.

Візуальні системи — камери та датчики, які аналізують навколишнє середовище для забезпечення орієнтації. Технології комп’ютерного зору можуть допомагати у розпізнаванні об'єктів і місцевості [4].

3. Технології для уникнення перешкод:

Лідар (Lidar) — технологія вимірювання відстані до об’єктів, створюючи 3D-карти навколишнього середовища, що дозволяє БПЛА уникати зіткнень з перешкодами [5].

Системи на основі ультразвукових датчиків — технології для визначення відстані до об'єктів на близькій відстані.

Нейронні мережі — технології, що використовуються для ідентифікації та уникнення перешкод в реальному часі [6].

4. Технології автономного виконання завдань:

Алгоритми маршрутизації — використання даних навігації та навколишнього середовища для автоматичного планування маршруту.

Системи управління місіями — програмне забезпечення, яке дозволяє задавати цілі, планувати польоти та автоматично виконувати завдання.

У даній роботі зосереджено увагу на одній із наведених вище технологій — кінематичному GPS у реальному часі (RTK — Real Time Kinematic). Ця технологія надає високоточні дані для позиціонування та навігації. Використання локальної базової станції разом із супутниковими сигналами дозволяє системам RTK GPS коригувати можливі помилки у GPS-даних, забезпечуючи

точність позиціонування до сантиметра. Окрім цього, система забезпечує передачу даних у реальному часі, високу автономність, надійність і доступну вартість. Із зростаючою потребою у високоточній навігації RTK GPS відіграватиме важливу роль у різних галузях промисловості в майбутньому.

До основних компонентів системи RTK GPS входять GPS-приймач, локальна базова станція та канал передачі даних між ними. GPS-приймач, встановлений на БПЛА, транспортному засобі чи іншій мобільній платформі, отримує сигнали від GPS-супутників (Рис. 1) [3].

Рисунок 1 — Компоненти системи RTK GPS

Базова станція також приймає ці ж GPS-дані, але додатково отримує інформацію від локальної опорної станції, яка розташована поблизу базової станції і використовується для корекції похибок у GPS-даних.

Принцип роботи RTK GPS полягає в тому, що, додаючи локальну базову станцію до супутникових сигналів, система може коригувати можливі помилки у GPS-даних. Це досягається шляхом порівняння даних, отриманих базовою станцією, з даними від мобільного пристрою. Усі виявлені похибки виправляються, забезпечуючи високу точність позиціонування.

На додаток до високої точності та можливостей роботи в реальному часі, RTK GPS пропонує кілька інших функцій, що роблять його універсальним інструментом для широкого спектру застосувань. До них відносяться:

- Довговічність батареї: Завдяки використанню локальної базової станції на додачу до супутникових сигналів, система може працювати довше без необхідності частих підзарядок.
- Надійність: Системи RTK GPS створені для забезпечення стабільної роботи навіть у складних умовах, що робить їх особливо корисними для роботи на пересіченій місцевості та в екстремальних умовах.
- Доступність за ціною: У порівнянні з іншими високоточними GPS-системами, RTK GPS є відносно недорогим варіантом [7, 8].

Висновки. На даний момент розробка та використання автоматизованих систем БПЛА є актуальним та перспективним напрямком в багатьох сферах діяльності. Такі системи мають певні переваги та недоліки, але з розвитком технологій вони стають більш ефективними та доступними. Одним із таких рішень є технологія кінематичного GPS у реальному часі (RTK — Real Time Kinematic), яка пропонує ефективний спосіб вирішення існуючих проблем завдяки своїй високій точності й надійності. Загалом, RTK GPS є потужною технологією для отримання точних даних про позиціонування та навігацію. Її можливості передачі даних у реальному часі роблять RTK GPS ефективним вибором для багатьох галузей. З подальшим розвитком цієї технології очікується розширення її застосувань.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Книш Б. П., Кулик Я. А., Барабан М. В. Класифікація безпілотних літальних апаратів та їх використання для доставки товарів. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: «Технічні науки», 2018, с. 246-251.

2. Автономні військові дрони — це вже не фантастика. URL: https://www.nato.int/docu/review/uk/articles/2017/07/28/avtonomn-vjs-kov-droni-tse-vyoe-ne-fantastika/index.html (дата звернення: 10.04.2024).

3. Марціленко С. В. Актуальність використання автономних безпілотних систем на базі технології RTK GPS та її переваги у порівнянні із системами ручного керування. Збірник матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів КНЕУ ім. В. Гетьмана, 2024, с. 218-219.

4. An Accurate Land-Vehicle MEMS IMU/GPS Navigation System Using 3D Auxiliary Velocity Updates. URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.2161-4296.2007.tb00403.x (дата звернення: 30.09.2024).

5. LiDAR Technologies and Systems: посібник / P. McManamon. Washington, USA: SPIE, 2019

6. Приходько О. С., Матвійчук В. М. Використання нейронної мережі для підвищення курсової стабільності БПЛА за відсутності GNSS. Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ», 2023, с. 173-176.

7. RTK GPS: Understanding Real-Time Kinematic GPS Technology. URL: https://globalgpssystems.com/gnss/rtk-gps-understanding-real-time-kinematic-gps-technology/ (дата звернення: 21.03.2024).

8. Позиціонування в режимі реального часу (RTK). URL: https://globalgpssystems.com/gnss/rtk-gps-understanding-real-time-kinematic-gps-technology/ (дата звернення: 14.06.2024).

УДК 62-83:681.5

Т. І. Полешко, Р.В. Богунов, О.С. Назарова
Національний університет «Запорізька політехніка»
E-mail: nazarova16@gmail.com , poleshko.timas@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РОБОТИЗОВАНОЮ МОБІЛЬНОЮ ПЛАТФОРМОЮ НА БАЗІ MICRO:BIT

В даній роботі досліджено роботизовану мобільну платформу на базі Micro:bit, проведено порівняння плати Micro:bit з аналогами, вивчено можливості використання роботизованої мобільної платформи в освітніх проєктах. Досліджено систему керування платформою, способи програмування платформи, технічні особливості та модулі, систему керування позиціюванням роботизованої мобільної платформи на основі розпізнавання чорної смуги, особливості налаштування та функціонування інфрачервоних датчиків слідування за чорною смугою.

Ключові слова: система керування, робот, мобільна платформа, Micro:bit, моделювання

T. Poleshko, R. Bohunov, O. Nazarova Robotic mobile platform based on the Micro:bit board was explored. The Micro:bit board is compared to with its counterparts. The potential use of the robotic mobile platform in educational projects is studied. The research examines the platform's control system, programming methods, technical features and modules, as well as the positioning control system of the robotic mobile platform based on black line recognition. The setup and operation of infrared sensors for black line are analyzed.

Keywords: control system, robot, mobile platform, Micro:bit, modeling

Постановка проблеми. Актуальність дослідження системи керування роботизованою мобільною платформою на базі Micro:bit в освітній діяльності університету зумовлена кількома важливими факторами. Використання Micro:bit дає студентам можливість отримати навички роботи з контролерами, датчиками, двигунами та іншими електронними компонентами, які є основою сучасних систем автоматизації. Це сприяє формуванню у студентів цілісного розуміння принципів створення та налаштування роботизованих систем. Micro:bit підтримує програмування в різних мовах (JavaScript, Python) та блокових середовищах, що дозволяє студентам розробляти власні проєкти, швидко тестувати їх і вдосконалювати. Такий підхід стимулює творче мислення, адже студенти можуть легко експериментувати з кодом і налаштуваннями платформи. Завдяки простоті

програмування Micro:bit платформи, студенти можуть брати участь у групових проєктах, розробляючи командні рішення для реальних задач. Це сприяє не лише засвоєнню матеріалу, але й розвитку навичок командної роботи, що є важливою складовою професійної діяльності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з даної проблеми. У країнах, що розвиваються, в освітніх програмах використовується застаріла методологія навчання, де єдина робота студентів полягає в тому, щоб слухати уроки професорів, не маючи практичного застосування чи практичного досвіду, тим самим провокуючи зниження обсягу уваги студентів, мотивації, і нудьга від процесу навчання. Проведення спеціалізованих заходів, які спрямовані на підвищення зацікавленості у технічних та інженерних спеціальностях, знаходять відображення у найрізноманітніших майстер-класах, уроках, змаганнях, що об'єднанні напрямком STEM-освіти. Проєктування роботів, створення програм для виконання певних функцій, використання штучного інтелекту – є трендами такого напрямку та активно використовуються у кількох типах роботів: Lego Spike, MODI car, Hexapod, mBot, micro:Maqueen Plus з камерою зі штучним інтелектом та micro:bit [1]. У статті [2] автори описують досвід використання робота-шестинога у навчальному процесі студентів бакалаврату. Він використовувався протягом основного курсу програмування, щоб допомогти студентам дізнатися про програмування робототехніки та алгоритми планування шляху. Наприкінці курсу було проведено кілька опитувань, що показали високий рівень сприйняття курсу студентами та зацікавленість у вивченні роботизованої платформи.

Це дослідження [3] має на меті інтегрувати технологію за допомогою допоміжних роботів як корисного інструменту для викладачів, щоб покращити концентрацію уваги студентів, зробивши процес навчання в багатьох областях мексиканської навчальної програми більш динамічним, отже, отримуючи кращі результати. Це дослідження доводить, що концентрація уваги справді покращується в результаті впровадження роботизованих платформ під час навчального процесу, що дозволяє студентам стати більш мотивованими під час уроків, стати більш проактивними та зберігати більше інформації під час вивчення спеціалізованих дисциплін. Дослідження [4] показало, що роботи є технологічними інструментами, які викликають великий інтерес у початковій освіті з багатьох причин, але головним чином через їх сумісність з наукою, технологіями, інженерією та математикою (STEM). Представлено методологію, засновану на реалістичній математиці, для інтеграції освітньої робототехніки в початковій школі Сігуейро (Іспанія).

Тайвань запровадив національну дванадцятирічну базову освіту з 2019 року, а навчальна програма зосереджена на «основній грамотності», у якій самостійна дія, спілкування та взаємодія, а також соціальна участь перегукуються з освітнім духом науки, технологій, інженерії, мистецтва та математики [5]. Це ключ до зв'язку навчання та застосування. Формуючи таким чином знання та навчальні навички, можна підвищити навчальну мотивацію та ефективність навчання учнів. У цьому дослідженні об'єктом дослідження виступають підлітки, а інтегроване навчання роботів і програмне навчання STEAM побудовано шляхом поєднання навчального методу робота micro: Maqueen із програмою графічного керування з метою сприяння інтеграції та інноваційному застосуванню програмного та апаратного забезпечення роботів. Дослідницька група вивчала інновації в цифрових медіатехнологіях навчання з технологією штучного інтелекту (AI), яка може використовувати технологію AI для взаємодії з учнями, щоб підвищити їх зацікавленість [6]. Автори сподіваються, що інновації в цифровому медіанавчанні з технологією штучного інтелекту (AI) і зможуть вирішити різні проблеми, викликані навчанням людини, підвищити ефективність викладання та навчання, а також створити стилі навчання для створення нових масивів знань як у класі, так і при дистанційному навчанні.

За останнє десятиліття цифровізація формує загальну структуру освіти в усьому світі, при цьому практики, дослідники та політики приділяють увагу розвитку освіти. Цифрові технології вносять величезні зміни в освіту, кваліфікацію та роботу. Ці зміни відображають те, що технології стають все більш центральними для освіти 4.0. Результати дослідження посилюють цінність освітнього зростання та розвитку високотехнологічних навичок. Майбутнє освіти зосереджено на цифрових технологіях, а традиційні форми навчання будуть повністю замінені [7].

Педагогіку науки, технологій, інженерії, мистецтва та математики (STEAM) можна легко розвинути за допомогою робототехніки та інструментів обчислювального мислення. Крім того, за допомогою цих інструментів можна сприяти включенню та інтеграції різноманітних груп студентів. Оскільки роботи все частіше зустрічаються в нашому повсякденному житті, важливо також інтегрувати роботів у освіту. Вже є роботи-кухарі, автономні автомобілі, роботи-пилососи в будинках і садах або протези. У статті [8] описується курс, зосереджений на поєднанні методологій навчання, інструментів освітньої робототехніки та методології управління навчанням студентів, і

все це в рамках інклюзивної структури для посилення присутності жінок та інших недостатньо представлених груп у інженерії. У статті [9] розглянуто нову мобільну інтелектуальну роботизовану платформу, що дозволяє оперативно проводити дослідження з оцінки якості води у водоймах, а також виконувати аналіз рельєфу дна водойми з подальшим збереженням усіх даних. Встановлено, що використання інтелектуальної платформи для аналізу води суттєво пришвидшує проведення досліджень, дозволяє збільшити досліджувану площу водойми та спрощує процес встановлення відповідності даних певному місцю на водоймі. У дослідженні [10] сформульовано вимоги до системи інтелектуального визначення координат мобільних платформ за умови дії завад, визначено основні етапи розроблення системи. Запропоновано розроблення системи здійснювати на базі інтегрованого підходу, який охоплює: методи нейромережевого оброблення та аналізу даних від навігаційних сенсорів; методи машинного навчання нейронних мереж; методи навігації; методи збирання та оброблення даних із давачів за умови дії завад і неповноти інформації; сучасну елементну базу. Визначено, що нейромережевий спектральний аналіз порівняно з класичними методами немає обмежень на вимірність, є швидким, неітеративним і не нагромаджує похибки. У статті [11] розроблено методики тестування програмно-апаратного комплексу мобільних робототехнічних платформ. Розглянуто архітектуру програмно-апаратного комплексу засобів і досліджено взаємодію компонент спеціалізованого програмного забезпечення мобільних робототехнічних платформ. У даній статті досліджуються особливості запровадження STEM-освіти в українській школі. Представлено плату micro:bit, яка познайомить учнів з основами робототехніки та полегшить вивчення програмування шляхом створення комп'ютерних програм. Проведено аналіз дослідження сучасних науковців та запропоновано модельну програму вивчення робототехніки на основі плати micro:bit [12].

Отже, аналізуючи літературні джерела, які наведені раніше, актуальність дослідження можна умовно розділити на два напрями. Перший напрям – це дослідження «розумних» технологій прикладі роботизованої мобільної платформи. Другий напрям – це використання спеціалізованого навчального обладнання для вивчення основ розробки «розумних» речей, отримання навичок узагальнення інформації декількох датчиків для побудови замкненої системи автоматичного керування позиціюванням робо-платформи. Обидва напрями дозволяють виконати розробку сучасного лабораторного стенду, який допоможе студентам отримати навички роботи з системами автоматичного керування реальними об'єктами, поглибити знання з програмування, провести дослідження ефективності розробленої системи на фізичній моделі, що підвищить рівень теоретичних знань та практичних навичок студентів.

Опис програмно-апаратної частини комплексу. Maqueen Plus V2.0 — це роботизована платформа з підтримкою Micro:bit (версій V1 та V2), знайшла широке застосування у STEAM-освіті та освітній діяльності студентів. STEAM розшифровується як Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics — наука, технології, інженерія, мистецтво та математика. STEAM-освіта спрямована на розвиток навичок у цих галузях через інтегровані навчальні проєкти, які допомагають студентам практично застосовувати теоретичні знання. Робот Maqueen Plus V2.0 є інструментом для навчання з міждисциплінарним підходом, тому що сприяє розвитку навичок у програмуванні, інженерії та робототехніці. Підтримка візуального та текстового програмування за допомогою різних середовищ програмування, таких як MakeCode, JavaScript, Python, Scratch, Mind+, дозволяє швидко опанувати навички керування роботом, суттєво спрощує програмування порівняно з іншими мовами. MakeCode, Mind+ та Scratch це прості візуальні середовища, де команди зображені як блоки, які легко переміщувати та поєднувати між собою. Це дозволяє значно спростити процес програмування, уникнути складної роботи з кодом, робить можливим навчання учнів різного віку. Вбудовані 5 датчиків для слідування за лінією, ультразвуковий сенсор (H-SRO4) та інфрачервоний приймач. Датчики слідування за лінією інфрачервоні, випромінюють світло та вимірюють його відбиття від поверхні. Вони дозволяють рухатися за чорною лінією на білому фоні, що у свою чергу дозволяє проїжджати різні маршрути. Для об'їзду перешкод може бути використаний ультразвуковий сенсор H-SRO4, який випромінює ультразвук та вимірює час між випроміненням і відбиттям від перешкоди, обчислюючи таким чином відстань. Інфрачервоний приймач дозволяє отримувати сигнали з пульта дистанційного керування. Порти 5 В/В (P0 P1 P2) x 3; 3.3 В/В (P0 P1 P2 P8 P9 P12 P16) x 7; 3.3 У I2C x 2; 5 В I2C x 1. Перші три входи це GPIO порти (General Purpose Input/Output), які підтримують як вхідні, так і вихідні сигнали напругою 5 вольт. Порти P0, P1, P2, P8, P9, P12, P16 це також GPIO, проте вони підтримують сигнали напругою тільки 3.3 вольти. Далі йдуть I2C порти, (Inter-Integrated Circuit) — це інтерфейси для підключення і комунікації між мікроконтролером і периферійними пристроями (наприклад, датчиками, дисплеями, тощо) через дві

спільні лінії: SDA (для передачі даних) і SCL (для синхронізації). Вони дозволяють підключати кілька пристроїв до одного мікроконтролера, забезпечуючи зручне і гнучке розширення можливостей робота завдяки передачі даних на відносно великих відстанях без потреби у великій кількості проводів. Мотор-редуктор GA12-N20 на базі двигуна постійного струму для моделей та робототехніки, електроних замків з металевою системою шестерень. Надійний двигун N20 і циліндричний редуктор. Довжина валу або 4,5мм або 9мм.Двигуни контролюються через спеціальні порти, які дозволяють налаштовувати швидкість і напрямок. Завдяки програмованому керуванню, Maqueen Plus може виконувати складні траєкторії, слідувати за лінією чи уникати перешкод.

Програмування датчиків слідування за лінією. Програмування датчиків слідування за лінією може здійснюватися за допомогою багатьох інструментів, проте розглянемо найбільш поширений засіб, MakeCode. Принцип програмування сенсорів полягає у тому, що робот Maqueen Plus V2 може бути відносно лінії у трьох положеннях. У першому положенні на лінії знаходиться тільки давач M, у другому L1 знаходиться на чорній лінії, R1- ні. У третьому положенні, навпаки, R1 знаходиться на чорній лінії, L1- ні. В залежності від положення датчиків на лінії можна давати відповідні команди для забезпечення руху. Програмування робота здійснюється за допомогою MakeCode. Для написання програми використовуються три основні оператори: оператор датчика, логічний оператор порівняння «=» та логічний оператор «and». Задача полягає у тому, щоб надати двигунам команди руху відповідно до положення датчика на чорній лінії. Програма з задіяними трьома або п’ятьма датчиками існує вже в готовому вигляді на сайті виробника. Виявлено, що внаслідок раптової зміни ступеня освітлення траси роботизована платформа може втратити орієнтацію за чорною смугою.

Висновки. В ході дослідження проведено детальний огляд сучасних тенденцій розвитку роботизованих мобільних платформ, а також розглянуто різновиди мобільних роботів і системи керування колісними платформами. Встановлено, що вибір системи керування залежить від конкретних потреб, і кожна з них має свої переваги та обмеження. Особливу увагу приділено порівнянню плати Micro:bit із альтернативними рішеннями, що використовуються для керування мобільними роботами. Виявлено переваги Micro:bit у простоті та доступності, проте зазначено й деякі обмеження порівняно з більш потужними аналогами. Крім того, обговорено основні напрями розвитку роботизованих мобільних платформ, такі як вдосконалення автономності, точності навігації та адаптації до різноманітних умов середовища. Також розглянуто особливості апаратної частини платформи Micro: Maqueen Plus V2, що дозволяє наочно продемонструвати основи створення та управління мобільними роботами. Виявлено, що внаслідок раптової зміни ступеня освітлення траси роботизована платформа може втратити орієнтацію за чорною смугою.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Žufić J. Increasing Elementary School Students’ Motivation for Computer Science through the RobotDay Project Activities / J. Žufić, T. Žajgar, A. Debeljuh // 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO), 2024. pp. 698-702. doi: 10.1109/MIPRO60963.2024.10569906.

2. Ponce, P. Improving education in developing countries using robotic platforms / P. Ponce, A. Molina, E.O.L. Caudana, et al // Int J Interact Des Manuf., 2019. Vol. 13. pp. 1401–1422. https://doi.org/10.1007/s12008-019-00576-5

3. Ponce, P. Use of Robotic Platforms as a Tool to Support STEM and Physical Education in Developed Countries: A Descriptive Analysis / P. Ponce, C.F. López-Orozco, G.E.B. Reyes, E. Lopez-Caudana, N.M. Parra, A. Molina // Sensors, 2022. Vol. 22. pp. 1037. https://doi.org/10.3390/s22031037

4. Bellas, F. Robotics in Primary School: A Realistic Mathematics Approach / F. Bellas, M. Salgado, T.F. Blanco, R.J. Duro // In: Daniela, L. (eds) Smart Learning with Educational Robotics. Springer, Cham, 2019. pp 149–182. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5_6

5. Ting-sheng W. Design of the Graphic-Controlled Robot for the Education of Teenagers / W. Ting-sheng // In Proceedings of the 2020 2nd International Conference on Management Science and Industrial Engineering (MSIE '20). Association for Computing Machinery, New York, 2020. pp. 81–89. https://doi.org/10.1145/3396743.3396793

6. Suwannakhun S. Empowering education with artificial intelligence through learner robots / S. Suwannakhun, D. Srikaew, S. Yampinij // 2023 17th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS), 2023. pp. 452-456. doi: 10.1109/SITIS61268.2023.00081.

7. Qureshi, Muhammad Imran. Digital Technologies in Education 4.0. Does It Enhance the Effectiveness of Learning? A Systematic Literature Review / Qureshi, Muhammad Imran, Nohman Khan,

Hamad Raza, Amina Imran, and Fadillah ismail // International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM), 2021. Vol. 15 (04). pp. 31-47. https://doi.org/10.3991/ijim.v15i04.20291.

8. Plaza P. Educational Robotics for All: Gender, Diversity, and Inclusion in STEAM / P. Plaza et al. // 2020 IEEE Learning With MOOCS (LWMOOCS), 2020. pp. 19-24. doi: 10.1109/LWMOOCS50143.2020.9234372.

9. Ткачук, А. Г. Мобільна роботизована платформа для проведення геодезичних та екологічних досліджень / А. Г. Ткачук, О. А. Громовий, В. М. Янчук, М. С. Гриневич, А. Р. Кравчук // Технічна інженерія, 2022. № 1(89). С. 85–92. https://doi.org/10.26642/ten-2022-1(89)-85-92

10. Цмоць, І. Г. Методи та засоби визначення координат мобільних платформ за умови дії завад / І. Г. Цмоць, В. М. Теслюк, Ю. В.Опотяк, Ю. І. Бударецький, А. О. Дзюба, О. О. Олійник // Scientific Bulletin of UNFU, 2024. № 34(2). С. 69-77. https://doi.org/10.36930/40340209

11. Цмоць, І. Г. Структура та особливості основних етапів тестування спеціалізованого програмного забезпечення мобільної робототехнічної платформи / І. Г. Цмоць, Ю. В. Опотяк, М. Я.Сенета, Ю. Ю.Олійник, Н. Б. Газда, // Scientific Bulletin of UNFU, 2023. - № 33(5). С. 46-53. https://doi.org/10.36930/40330506

12. Яшан, Б. Model program for learning robotics based on the Micro:bit board / Б. Яшан, В. Димашок // SWorldJournal, 2023. № 3(21-03). С. 3–7. https://doi.org/10.30888/2663-5712.2023-21-03-002

13. Nazarova O. Development and research of the software and hardware complex for controlling the lighting and alarm systems of the smart building / O. Nazarova, A. Kazurova, R. Bogunov // Міжнародна наукова конференція «Новітні досягнення в науці та техніці і їх значення для суспільства», 6–7 грудня 2023 року м. Ченстохова, Республіка Польща. С.60-63. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-388-0-14

14. Назарова, Олена. Моделювання робототехнічних і мехатронних систем на базі Micro:bit. / Олена Назарова, Аліна Казурова, Володимир Осадчий, Радіон Богунов // Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали VI міжнар. наук.-прак. конф., 14-16 трав. 2024 р. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ : Кушнір Г. М. 2024. С. 103-105.

УДК 62-83:681.5

О.Г. Русяк, О.С. Назарова
Національний університет «Запорізька політехніка»
E-mail: nazarova16@gmail.com

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ СКЛАДНИМИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

В даній роботі представлено результати огляду літератури, пов’язаної з використанням методів нечіткої логіки в системах моніторингу складних електромеханічних систем. Запропоновано рекомендації щодо напрямків подальших досліджень в області розробки інтелектуальних систем діагностики стану та систем автоматичного керування. Для побудови моделі нечіткої системи прийняття рішення про стан досліджуваного об’єкта застосовано *Fuzzy Logic Toolbox.* Отримано програмно-апаратний комплекс, який дозволяє досліджувати взаємодію органів керування та виконавчих механізмів холодної прокатки.

Ключові слова: інтелект, керування, електромеханічна система, моделювання, нечітка логіка, Fuzzy Logic Toolbox.

O. Nazarova, O. Rusiak. Intelligent control of complex electromechanical systems. This paper presents the results of a literature review related to the use of fuzzy logic methods in monitoring systems of complex electromechanical systems. Recommendations on directions of further research in the field of development of intelligent state diagnosis systems and automatic control systems are offered. Fuzzy Logic Toolbox was used to build a model of a fuzzy decision-making system about the state of the object under study. A software-hardware complex was obtained, which allows to study the interaction of control bodies and executive mechanisms of cold rolling.

Keywords: intelligence, control, electromechanical system, modeling, fuzzy logic, Fuzzy Logic Toolbox.

Постановка проблеми. Складні промислові електромеханічні системи характеризуються високим ступенем невизначеності. Це проявляється у складних взаємозв'язках змінних керування та вихідних змінних. Для забезпечення певних режимів роботи необхідно узгодити керування регульованими змінними, оскільки зміна однієї вхідної змінної в більшості випадків приводить до зміни всіх або декількох вихідних змінних. Ця властивість визначає такі об'єкти як клас багатозв'язних об'єктів керування.

Для вирішення такої задачі пропонується розробка інтелектуальних алгоритмів керування з урахуванням можливих стратегій поведінки об'єкта в умовах неповної інформації та з урахуванням вищеописаних невизначеностей, які можуть виникати в процесі функціонування об'єкта та керування в режимі оперативного прийняття рішень. [1] Одним із найбільш поширених механізмів формування таких алгоритмів є механізм нечіткої логіки на основі якого створюється база знань. Це дозволяє вирішити актуальну задачу автоматизації та перейти на новий якісний рівень керування складними промисловими електромеханічними системами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з даної проблеми. Головне місце в нечіткій логіці та відповідних системах керування посідає нечіткий висновок. Процес нечіткого виведення являє собою послідовність здобуття нечітких висновків з урахуванням нечітких умов або передумов за допомогою використання понять і принципів нечіткої логіки. Системи нечіткого виводу використовуються для реалізації процесу нечіткого виведення і служать світоглядним базисом усієї існуючої нечіткої логіки [2].

Труднощі побудови системи керування (СК) визначаються складністю об'єкта керування (ОК). Наприклад, брак математичного опису, алгоритму обчислення стану об'єкта, недетермінованість (стохастичність), яка зумовлена переважно складністю об'єкта і пов'язаними з цим численними другорядними процесами, якими нехтують під час побудови математичної моделі, а також нестаціонарність, що виявляється у дрейфі характеристик об'єкта [3].

Інтелектуальні системи (ІС) – це новий клас автоматизованих систем оброблення інформації на основі ЕОМ, які моделюють розумові процеси, притаманні людині при прийнятті рішень у різних галузях соціально-економічної сфери суспільства [4]. Автоматизований технологічний комплекс (АТК) із виробництва певного виду продукції функціонує під управлінням автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП), яка виконує функції керування технологічними агрегатами (ТА) й окремими технологічними машинами (ТМ) у складі цього комплексу, тобто здійснює функцію координаційного управління цими технологічними об'єктами. АСУТП здійснює формування команд (сигналів) управління згаданими ТА і ТМ шляхом виконання певних алгоритмів оброблення команд, що надходять від системи управління виробництвом, інформації про поточні значення контрольованих параметрів технологічного процесу та про стан усіх підсистем технологічного комплексу [5].

Методи, що ґрунтуються на застосуванні апарата нечіткої логіки, знаходять широке поширення при вирішенні завдань механічної обробки, у тому числі й обробки різанням. Розробка ефективної системи діагностики стану різального інструменту з використанням нечіткої логіки є актуальною науково-практичною проблемою [6]. Розглянуто методи вирішення науково-практичного завдання класифікації дефектів металевих труб нафто- та газопроводів завдяки апарату нечіткої логіки fuzzy-logic [7]. Для системи переміщення електрода дугової сталеплавильної печі проаналізовоно вплив нелінійностей на показники її функціонування та синтезовано нечіткий регулятор, який забезпечує швидкий вихід системи на усталений режим при відсутності коливань вихідної координати системи [8]. Запропонована експертна система з нечіткою логікою формує сигнал задання частоти та напруги джерела живлення за оптимальним законом частотного керування. В результаті математичного моделювання встановлено, що процеси рушання та пуску в запропонованій системі, на відміну від систем керованого рушання з жорстко заданим законом частотного керування, характеризуються більшою тривалістю перехідного процесу, але струм набуває максимального значення лише на короткий час, що сприяє збереженню ресурсу електромеханічної системи за рахунок зменшення теплових і вібраційних навантажень [9].

Метою роботи є дослідження сучасного стану проблеми щодо застосування методів нечіткої логіки в системах моніторингу електромеханічних процесів складних взаємопов'язаних промислових комплексів, а також встановлення напрямів подальших досліджень у цій галузі.

Викладення основного матеріалу і аналіз отриманих результатів. В даний час застосування мікропроцесорної техніки посприяло «інтелектуалізації» промислового обладнання. Яскравий приклад тому — електричні приводи, що представляють собою системи, здатні до, самоналаштування і адаптації. Подібні системи набувають все більшого поширення в якості

приводної техніки для високопродуктивних ліній. Перспективними напрямами розвитку цих систем є використання баз даних систем моніторингу та експертних знань у системах прийняття рішень для обслуговуючого персоналу, а також елементів штучного інтелекту для систем автоматичного контролю технологічного процесу.

Для вирішення завдання дослідження електромеханічних параметрів дресирувального одноклітьового стану холодної прокатки цеху холодної прокатки №1 ВАТ «Запоріжсталь» використовується багатоканальний комплекс, який призначений для моніторингу та архівування отриманих даних. Комплекс використовує інформацію, отриману від датчиків швидкості, струму та напруги. По кожному з чотирьох електроприводів контролюються такі координати: напруга двигуна, струм збудження, струм якоря, а також швидкість кліті, яка береться з урахуванням калібрувального коефіцієнта пропорційно до напруги тахогенератора. Таким чином, створюється досить ґрунтовна база даних прокатки кожного рулону щодня, яка доступна як у графічному відображенні, так і у табличному, що розширює можливості використання та аналізу отриманих даних [10].

Актуальність використання принципів штучного інтелекту в електроенергетичних системах полягає в забезпеченні необхідного рівня обміну інформацією між складовими елементами системи на основі інтелектуальних методів. На теперішній час одним із шляхів розв’язання задачі побудови ефективної автоматичної системи керування або прийняття рішення є використання інтелектуальних методів на основі математичного апарата нечіткої логіки, які реалізують керування на основі експертних відомостей і не потребують математичного опису поведінки системи.

Для побудови елементу удосконалення системи діагностики пропонується скористатися засадами нечіткої логіки. На вході цієї нечіткої системи прийняття рішення про об’єкт діагностування було задано наступні значення: напруга якірного кола двигуна розмотувального механізма; струм якірного кола двигуна розмотувального механізма; натяг смуги металу, що прокатується, на ділянці між розмотувачем та прокатною кліттю. На виході отримано загальний стан системи, який напряму залежить від значень вхідних даних (рис. 1) [11].

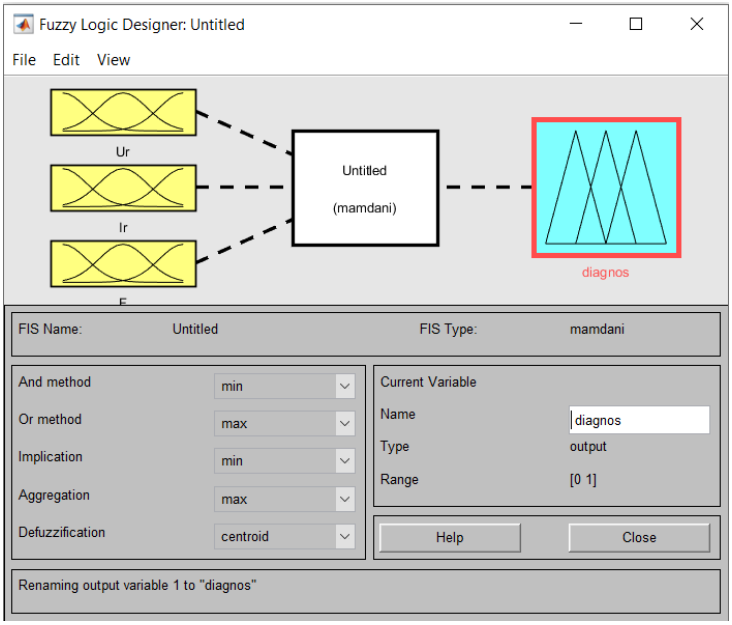


Рис.1. Загальний вигляд розробленої нечіткої системи

Гнучкість у виборі правил - системи нечіткої логіки дозволяють інженерам визначати правила для управління складними електромеханічними системами, що є важливим у виробничих умовах зі змінними параметрами. Адаптивність до змінних умов - здатність систем нечіткої логіки адаптуватися до змінних умов дозволяє підтримувати стабільну продуктивність навіть при зміні параметрів виробництва або робочого середовища. Обробка нечіткої інформації - в ситуаціях, коли точна інформація недоступна або нечітка, системи нечіткої логіки можуть ефективно обробляти нечіткі та неструктуровані дані для прийняття рішень. Можливість підтримувати множину вхідних параметрів - системи нечіткої логіки можуть обробляти множину вхідних параметрів, що робить їх ефективними для управління конвеєром, де існує багато змінних. Висока робоча продуктивність -

застосування нечіткої логіки може поліпшити продуктивність конвеєрів шляхом оптимізації процесів та підтримки найкращих умов роботи. Менша залежність від точної моделі - системи нечіткої логіки можуть працювати добре, навіть якщо точна математична модель системи не повністю відома чи неповна. Покращення ефективності енергоспоживання - за допомогою нечіткої логіки можна реалізувати стратегії енергозбереження, що дозволяє знижувати споживання енергії та оптимізувати роботу конвеєра. Актуальність використання систем нечіткої логіки полягає в їхній здатності ефективно працювати в умовах невизначеності та змінності, що є типовим для виробничих процесів.

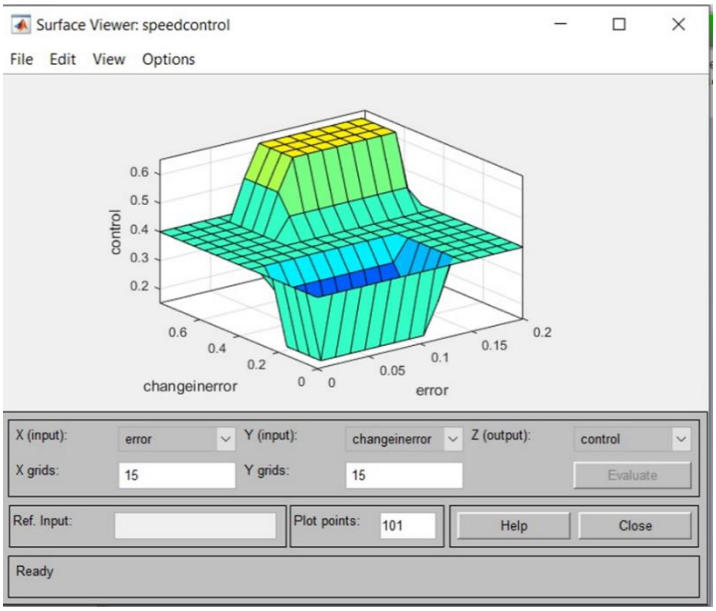


Рис.2. Поверхня результатів моделювання розробленої нечіткої системи

З використанням заданих функцій приналежності розроблено базу нечітких правил. Для побудови цієї бази правил використовують модель типу «якщо – то», за допомогою якої встановлюються зв’язки між вхідними та вихідними параметрами системи. Основне призначення бази нечітких правил – це передати у формальній формі знання експертів або результати експериментів, які отримані емпіричним шляхом, у певній проблемній області.

Для наочності та аналізу створеної нечіткої системи, представлено поверхню результатів моделювання (рис. 2), використовуючи графічне зображення нечіткого виводу моделі прийняття рішень щодо стану двох взаємопов’язаних електроприводів (розмотувального механізма та прокатної кліті) стана холодної прокатки.

Отже, комбінація класичних методів керування з елементами нечіткої логіки має потенціал при розробці систем автоматичного керування, які дозволять підвищити якість систем керування, моніторингу та діагностики складних промислових електромеханічних об’єктів.

Висновки. Дослідження в області моніторингу стану складних електромеханічних систем здійснюється за такими напрямками: розробка єдиної методології застосування нечіткої логіки в системах керування та моніторингу; оцінка точності та порівняльний аналіз систем моніторингу складних електромеханічних об’єктів з використанням сигналів різних видів (кутової швидкості струму та потужності електродвигуна тощо); розробка нечіткої підсистеми прийняття рішень у системах моніторингу складних електромеханічних систем. Запропонована експертна система може бути вдосконалена за рахунок розширення евристичних правил з використанням додаткових параметрів, що характеризують стан електромеханічної системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Штовба С.Д. Інтелектуальні технології ідентифікації залежностей. Лабораторний практикум : електронний навчальний посібник / Штовба С.Д., Мазуренко В.В. – Вінниця : ВНТУ, 2014. 113 с.

2. Інтелектуальні системи автоматизації : монографія / Аврунін О. Г., Владов С. І., Петченко М. В., Семенець В. В., Татарінов В. В., Тельнова Г. В., Філатов В. О., Шмельов Ю. М., Шушляпіна Н. О. – Кременчук : Видавництво «НОВАБУК», 2021. 322 с.

3. Апостолюк В. О. Інтелектуальні системи керування: конспект лекцій [Текст] / В. О. Апостолюк, О. С. Апостолюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. 88 с.

4. Довбиш А.С. Основи проектування інтелектуальних систем: навчальний посібник/А.С. Довбиш.– Суми: Вид-во СумДУ, 2009.– 171 с.

5. Автоматизовані електромеханічні системи : конспект лекцій / укладачі : Черв'яков В. Д., Леонтьєв П. В., Соколов С. В. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 253 с.

6. Залога В. О. Використання нечіткої логіки в системах діагностики процесів механічної обробки : сучасний стан питання / В. О. Залога, Р. М. Зінченко, А. В. Гонщик // Вісн. Житомир. держ. технол. ун-ту. Сер. : Техн. науки. 2011. № 2 (57). С. 22–31.

7. Григоренко І. В. Дослідження можливостей використання апарата FUZZY-LOGIC при вимірюванні та класифікації дефектів металевих труб / І. В. Григоренко, С. М. Григоренко, С. Ю. Гавриленко // Укр. метрол. журн. 2017. № 2. С. 42–49.

8. Лозинський А. О. Дослідження системи переміщення електродів дугової сталеплавильної печі з нечітким регулятором / А. О. Лозинський, Я. С. Паранчук, Л. І. Демків // Техн. електродинаміка. 2014. № 2. С. 73–77.

9. Хребтова О. А. Електропривід механізму підіймання затвора зливної греблі з керованним процесом рушання / О. А. Хребтова, С. А. Сергієнко // Вісн. Він. політехн. ін-ту. 2017. № 2. С. 56–62.

10. Назарова, О.С. Удосконалення системи діагностики стана холодної прокатки на основі бази даних його електромеханічних процесів / О.С. Назарова, Б.В. Васильєв, Д.Р. Шокуров // Електротехніка та електроенергетика, 2023. №1. С.7-18. DOI 10.15588/1607-6761-2023-1-1

11. Nazarova O. Fuzzy logic technologies in the diagnostic system of electromechanical processes of the cold rolling mill / O.Nazarova, O.Rusiak // Energy, Tbilisi, 3(107)/2023. P. 10-15.

УДК 004.4:621.396.96

В. О. Сацик, Л. М. Маркіна, О.О. Сильчук
Луцький національний технічний університет
E-mail: v.satsyk@lutsk-ntu.com.ua

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ЗНІМКІВ З БПЛА

Стаття присвячена аналізу сучасних програмних продуктів, що використовуються у сфері картографії, фотограмметрії та моніторингу GPS. В роботі представлено функціональні можливості, ключові переваги та обмеження програм, які дозволяють автоматизувати створення карт, тривимірних моделей, ортофотопланів і географічних проектів та мультиспектральних зображень. Особливо увага приділена таким інструментам, як Pix4Dmapper Pro, MapsDroneDeploy, Mission Planner, та інші, які змінюють важливу роль у роботі з дронами та супутниковими даними.

У статті також підкреслюється роль безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у сучасному картографуванні, їх внесок у зниження витрат, підвищення точності зйомки та безпеки процесів. Картографія розглядається як один із фундаментальних інструментів для збирання, аналізу та візуалізації географічної інформації.

Матеріали статті будуть корисними для фахівців у галузях геодезії, будівництва, землеустрою, а також для студентів, які вивчають дисципліни, пов'язані з комп'ютерною графікою та просторовим аналізом.

Ключові слова: картографія, фотограмметрія, GPS моніторинг, дрони, тривимірне моделювання, MapsDroneDeploy, Pix4Dmapper Pro, Mission Planner.

V. O. Satsyk, L. M. Markina, R. R. Pechonchyk Comparative analysis of software for processing images from UAVs

The article is devoted to the analysis of modern software products used in the field of cartography, photogrammetry and GPS monitoring. The work presents the functionality, key advantages and limitations of programs that allow you to automate the creation of maps, three-dimensional models, orthophoto plans and geographic projects and multispectral images. Special attention is paid to such tools as Pix4Dmapper

Pro, MapsDroneDeploy, Mission Planner, and others, which are changing the important role of working with drones and satellite data.

The article also emphasizes the role of unmanned aerial vehicles (UAVs) in modern mapping, their contribution to reducing costs, increasing survey accuracy and process safety. Cartography is considered as one of the fundamental tools for collecting, analyzing and visualizing geographic information.

The materials of the article will be useful for specialists in the fields of geodesy, construction, land management, as well as for students studying disciplines related to computer graphics and spatial analysis.

Keywords: cartography, photogrammetry, GPS monitoring, drones, three-dimensional modeling, MapsDroneDeploy, Pix4Dmapper Pro, Mission Planner.

Проблема дослідження. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали невід'ємною частиною сучасних технологій, що використовують у різноманітних сферах, включаючи картографію, сільське господарство, будівництво, охорону природи та геодезію. Популярність пояснюється здатністю швидко і точно збирати обсяг великих даних, що відкриває нові можливості для аналізу та прийняття їх рішень.

Ключовим етапом роботи з БПЛА є обробка знімків, отриманих під час польотів. Саме цей процес забезпечує створення високоточних моделей місцевості, ортофотопланів, карт або тривимірних реконструкцій об'єктів. Ефективність, якість та швидкість обробки зображень залежать від обраного програмного забезпечення, яке повинно виконувати фактори, такі як точність різних геоприв'язок, функціональність та вимоги до апаратних ресурсів.

Мета статті: провести порівняльний аналіз найпопулярніших програмних рішень для обробки знімків з БПЛА, зокрема таких як Pix4D, Agisoft Metashape, DroneDeploy та інші.

Методом дослідження є визначення їх сильних і слабких сторінок, відповідності конкретним завданням і можливості інтеграції з іншими технологіями. Результати аналізу результатів користувачів приймають оптимальні рішення для своїх потреб.

Ця тема є актуальною в умовах зростання попиту на автоматизацію і цифровізацію процесів створення цифрових та електронних карт, де точність даних і економічних ресурсів мають вирішальне значення.

Об’єкт дослідження: програмні продукти швидкої побудови тривимірних моделей методом фотограмметрії

Предмет дослідження: процес побудови різних моделей та форм зображення досліджуваними програмними продуктами, а саме— хмари точок; поверхонь (DSM / DEM), високого ступеня деталізації у вигляді TIN або GRID моделей; 3D-моделей, текстура для яких генерується на основі вихідних зображень; ортофотопланів, які відповідають вимогам точності топопланів різного масштабу.

Виклад основного матеріалу. У сучасному світі величезне значення має своєчасність отримання інформації, досить відчутний відсоток якої (за різними даними, 70-85%) має просторову складову. Дані про об'єкти, що мають територіальну прив'язку, як не можна краще можуть бути представлені картою - найбільш поширеним способом осмислення такої інформації. Повнота і наочність необхідних відомостей докорінно впливають на швидкість і точність прийняття рішень в тій чи іншій ситуації. Людині, що приймає рішення, інформація може надаватися у вигляді тематичних карт, таблиць, діаграм, графіків, тощо. Для цього зазвичай застосовують спеціалізовані системи підтримки прийняття рішень, якими у разі просторово-орієнтованих баз даних можуть виступати геоінформаційні системи (ГІС).

Джерела літератури свідчать, що витрати на інформаційне забезпечення геоінформаційних проектів становлять від 70 до 90 % від їх загальної вартості[1]. Зрозуміло, що інформаційне забезпечення ГІС залишається вкрай трудомісткою справою. Основними джерелами даних для ГІС виступають картографічні джерела, дані дистанційного зондування (ДДЗ) і фотографічні дані, дані польових вишукувань, дані різноманітних кадастрів, Інтернет, дані гідрометеорологічних досліджень, літературні (текстові) дані, статистичні дані.

Увагу нашого дослідження зосереджено на питанні отримання фотографічних даних дистанційного зондування за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Причому, треба розуміти, що з точки зору необхідності подальшого аналізу й моделювання (прогнозування)

ситуацій, характерних для процесу формування та обґрунтування управлінських рішень, особливу цінність мають зображення поверхонь з географічною прив‘язкою.

Система БПЛА, крім стандартного планера та двигуна, включає основну плату процесора, інерційну навігаційну систему (INS), системи глобальних позицій (GPS), модуль телеметрії. Для цільових зображень також може бути встановлена фотокамера. Зображення, зроблені камерою, можуть згодом оброблятися тим чи іншим програмним забезпеченням (ПЗ), яке спеціалізується на фотограмметрії.

Як на вітчизняному так і на закордонних ринках представлено безліч програмних продуктів з’являються нові та постійно оновлюються вже існуючі . Ми розглянемо найбільш популярні програми, а також ті, які можуть запропонувати будь-який унікальний функціонал.

Найкраще програмне забезпечення, що базується на фотограмметрії для створення 3D моделей - *MapsDroneDeploy* - це провідна платформа хмарних програм у світі для картографування, БПЛА та 3D-моделювання. Мобільний додаток DroneDeploy дозволяє керувати майже усіма БПЛА, такими як Phantom 3, Phantom 4, Inspire 1 і 2, MavicPro, Matrice 100, 200 і 600 моделей, щоб створювати інтерактивні карти та моделі. Він дуже простий у використанні як для початківців, так і для професіоналів, які люблять цю швидку програму для фотограмметрії.

Вікно відображення поточного стану коптера під час польоту можна спогядати на рисунку 1.

Рисунок 1. Вікно відображення поточного стану коптера під час польоту

Слід відзначити також простоту процесу керування БПЛА з використанням додатку DroneDeploy, високу якість обробки зображень та створення 2D та 3D-моделей на сервері, можливість аналізувати, коментувати та ділитися своїми картами з іншими безпосередньо з програми, а також виокремити такі основні моменти автономного польоту:

- Просте планування польоту
- Налаштування автоматичного польоту та камери
- Автоматизовані передпольотні перевірки безпеки
- Підтримка багатопольотних місій та вибір вихідної точки для продовження місій
- Офлайн-можливості польоту
- Спеціальні параметри (висота, перекриття зображення спереду та збоку, налаштування камери) [8].

До найбільш популярного програмного забезпечення можна віднести *Pix4Dmapper Pro*

Основні переваги: висока ступінь автоматизації обчислень, доброзичливий інтерфейс і низький поріг освоєння, підтримка широкого спектру камер, в т.ч. 360 ° і відео, власний хмарний сервіс. Легкість освоєння і дуже низький поріг входження. Сучасний і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.

Результати обробки фотознімків в програмному продукті Pix4Dmapper Pro відображено на рисунку 2.

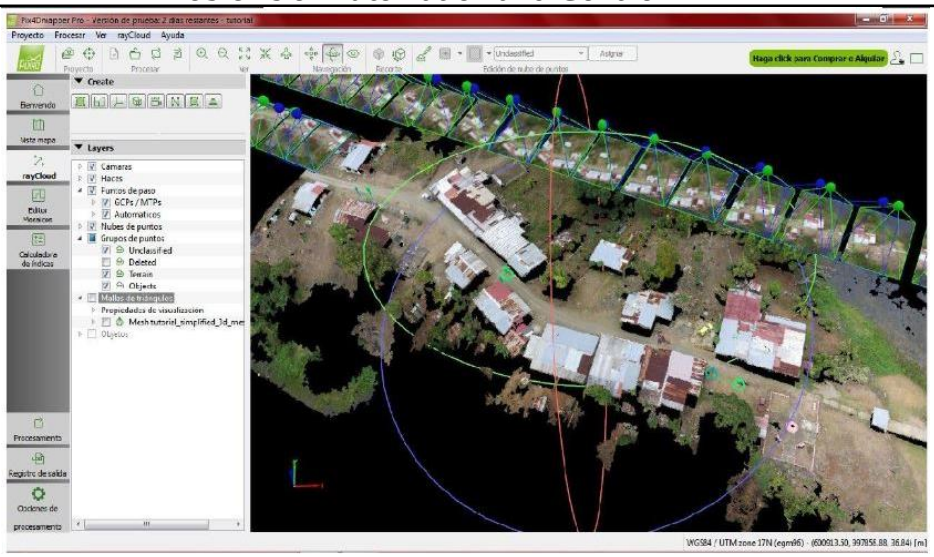


Рисунок 2. Результати обробки фотознімків в програмному продукті Pix4Dmapper Pro

Процес обробки знімків повністю автоматизований і може проходити взагалі без втручання користувача. Ви просто вибираєте бажані похідні продукти і натискаєте чарівну кнопку «Старт». Програма все зробить сама.

До недоліків варто віднести: обмеженість впливу користувача на процес обробки; відсутність можливості корегування проміжний результату; низька реалізація та малофункціональна ручна правки результатів; досить низька реалізація роботи з маркерами; обмежені можливості в генерації моделей рельєфу.

Mission Planner — це програмне забезпечення, розроблене для планування, налагодження та керування безпілотними літальними апаратами (БПЛА), зокрема ті, які використовуються в системі автопілоту ArduPilot. Mission Planner є відкритим програмним забезпеченням і забезпечує широкий спектр функціональності для керування БПЛА[7]. За допомогою Mission Planner оператор БПЛА може планувати маршрути польоту, встановлювати точки місій, задавати параметри польоту (висота, швидкість, орієнтація і т.д.), налаштовувати автопілот та виконувати моніторинг і керування під час польоту. Програмне забезпечення надає візуалізацію даних з БПЛА, включаючи траєкторію польоту, дані сенсорів, відео з камери і інші параметри. Mission Planner також підтримує такі функції, як генерація звіту про місію, запис телеметрії, налагодження автопілоту, налаштування дистанційного керування та оновлення прошивки. Він працює на різних операційних системах таких як Windows, Linux та MacOS, і забезпечує зручний і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для керування БПЛА.

Функціональні можливості Mission Planner включають також відображення карт, редагування параметрів БПЛА, налаштування автопілота для різних режимів польоту, аналіз журналів польоту, відновлення даних з попередніх місій та багато іншого. Враховуючи його відкритий характер, Mission Planner також дозволяє розробникам створювати свої власні розширення та додатки для розширення його функціональності. Mission Planner є популярним інструментом серед спільноти користувачів БПЛА на базі ArduPilot і забезпечує розширені можливості для планування та керування польотами. Його гнучкість, широкий спектр функціональності та інтуїтивний інтерфейс роблять його важливим інструментом для професіоналів і ентузіастів у галузі безпілотних систем.

Загальний вигляд вікна налаштування програмного продукту Mission Planner відображено на рисунку 3.

Рисунок 3. Загальний вигляд вікна налаштування програмного продукту Mission Planner

Переваги:

1. Розширений функціонал: Mission Planner надає широкий набір функцій і можливостей для планування місій БПЛА. Він дозволяє встановлювати точки маршруту, задавати параметри польоту, виконувати автоматичні місії та багато іншого. Це дозволяє користувачам здійснювати більш гнучкий та точний контроль над своїми БПЛА.

2. Підтримка різних апаратів: Mission Planner підтримує широкий спектр БПЛА, включаючи різні моделі і виробників. Це дає можливість використовувати програмне забезпечення з різними типами апаратів без необхідності вивчати нові інтерфейси та програми.

3. Відкритий код: Як програмне забезпечення з відкритим кодом, Mission Planner забезпечує відкритий доступ до свого вихідного коду. Це дозволяє розробникам вносити зміни, вдосконалювати функціонал та адаптувати програму до своїх потреб.

Недоліки:

1.Складність використання: У зв'язку з розширеним функціоналом та наявністю різноманітних налаштувань, Mission Planner може бути складним у використанні для новачків або користувачів без досвіду в програмуванні та керуванні БПЛА.

2. Вимоги до обладнання: Для повного функціоналу Mission Planner може знадобитися певне обладнання, таке як комп'ютер або планшет з певними характеристик

Висновки. Таким чином в результаті наших теоретичних досліджень встановлено, що безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали невід'ємною частиною сучасних технологій, які використовують у різноманітних сферах, включаючи картографію, сільське господарство, будівництво, охорону природи та геодезію. Популярність пояснюється здатністю швидко і точно збирати обсяг великих даних, що відкриває нові можливості для аналізу та прийняття їх рішень.

Картографія розглядається як один із фундаментальних інструментів для збирання, аналізу та візуалізації географічної інформації.

Порівняльний аналіз широкого спектру програмних продуктів показав, щодо найбільш популярних та використовуваних можна вінести: MapsDroneDeploy, Pix4Dmapper Pro, Mission Planner, які мають ряд своїх переваг та недоліків.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Аналіз програмного забезпечення для обробки знімків з БПЛА. URL: https://dspace.sfa.org.ua/bitstream/123456789/1650/1/Djuma_Skvortsov.pdf (дата звернення 28.11.2024).

2. ПРОГРАМИ ДЛЯ ОБРОБКИ ЗНІМКІВ З БПЛА. ОГЛЯД. URL: https://www.50northspatial.org.ua/ua/uav-image-processing-software-photogrammetry/ (дата звернення 28.11.2024).

3. Метод візуальної детекції безпілотних літальних апаратів. URL: https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/6deef3c3-4109-45aa-96b1-699ea769b0fd/content (дата звернення 28.11.2024).

4. Планувальник місії. URL: https://ardupilot.org/planner/ (дата звернення 28.11.2024).

УДК 004.9: 007.5

С.В. Фетісенко, Л.О. Гуменюк
Луцький національний технічний університет

АЛГОРИТМИ ГРУПОВОЇ ПОВЕДІНКИ РОБОТІВ

Робота присвячена дослідженню проблеми ефективної координації роботів для спільної роботи та розробці програмного забезпечення для управління групою роботів на основі механізмів групової поведінки. Розроблено програмне забезпечення для візуалізації результатів розподілу завдань для групи роботів використовуючи алгоритми CBAA та CBBA. Результати представлені для 2D та 3D варіантів. Проведено оцінку впливу параметрів та розміру завдань на групову поведінку роботів.

Ключові слова: мультироботні системи, групова поведінка, моделювання, CBAA, CBBA.

S. Fetisenko, L. Gumeniuk. Software implementation of mechanisms of group behavior of robots. The article is devoted to the study of the problem of effective coordination of robots for joint work and the development of software for managing a group of robots based on group behavior mechanisms. The software for visualizing the results of task distribution for a group of robots using CBAA and CBBA algorithms was developed. The results are presented for 2D and 3D variants. The influence of parameters and task size on the group behavior of robots is evaluated.

Keywords: multi-robot systems, group behavior, modeling, CBAA, CBBA

Постановка проблеми. Дослідження багатоагентних робототехнічних систем почали проводити з кінця 80-х років, оскільки ці системи забезпечують більш ефективну та надійну роботу порівняно з одиночними роботами.

Багатоагентні системи – це клас комп’ютерних систем, в яких декілька автономних агентів (роботів) взаємодіють між собою для досягнення спільних чи індивідуальних цілей. Кожен агент у багатоагентній системі має свій власний стан, здатність приймати рішення та взаємодіяти з іншими агентами через обмін інформацією чи виконання спільних дій.

Багато дослідників зосереджувалися на дослідженнях багатоагентних систем, зокрема на створенні надійної та інтелектуальної системи керування для спілкування та координації роботи агентів між собою. Проблеми архітектури керування, зв’язку та системи планування виявилися важливими і багато дослідників спрямовували свої зусилля на їх вирішення.

Аналіз останніх досліджень. Мультиагентних роботів можна класифікувати на дві основні категорії: однорідні та неоднорідні. Авторами Parker і Goldberg, проведено порівняльний аналіз щодо охоплення завдань і взаємодії між однорідними та неоднорідними агентами. Паркер виявив, що однорідні агенти можуть ефективніше виконувати однакові завдання в порівнянні з неоднорідними [7]. Це пояснюється тим, що такі агенти можуть виконувати однакові завдання одночасно, тоді як для неоднорідних агентів потрібно розподіляти завдання між ними. Завдяки цьому розподілу завдань серед неоднорідних агентів, виникають вищі рівні перешкод, як показано у дослідженні Goldberg [8].

Існують різні підходи, пов’язані з реактивним управлінням для багатоагентних роботів. В статті [9] пропонується координувати багатоагентні роботи за допомогою методів нечіткої логіки для уникнення перешкод і руху в навколишньому середовищі. У дослідженні Chen і Sun [10] висунуто новий принцип оптимального управління який базується на розподіленому керуванні багатоагентними роботами, що спрямований на досягненні консенсусу.

З іншого боку, автори [11] розробили унікальний адаптивний контролер для керування рухом лідера та супутників по заданому маршруту, заснований на локальному обміні інформацію.

Проблеми, які виникають у багатоагентних робототехнічних системах, включають аспекти управління як централізованого, так і розподіленого типу, досягнення консенсусу між агентами,

ефективне керування формуванням групи роботів та оптимізацію для забезпечення ефективної роботи системи. Розробка алгоритмів для досягнення консенсусу та стратегій управління формуванням є ключовими в цьому контексті.

Метою роботи є аналіз алгоритмів групової поведінки роботів.

Викладення основного матеріалу. Глобальний ринок використання мобільних роботів значно зріс за останні роки і став важливим інструментом для комерційних та державних застосувань.

Мобільні роботи включають в себе різноманітні технічні пристрої, які можуть взаємодіяти з оточуючим середовищем та виконувати різноманітні завдання без прямого втручання людини. Серед цих технічних пристроїв виділимо наступні:

- дрони (безпілотні літальні апарати);
- автономні автомобілі;
- мобільні роботи в промисловості;
- роботи для побутового використання;
- мобільні роботи в медицині.

Експлуатація таких засобів також розширилася від одного робота до систем з кількома роботами. Координація між ними стає складною проблемою для систем, що складаються з кількох роботів під час експлуатації. У операціях таких роботів існують задачі управління ситуаціями руху, такими як динамічне планування маршруту, планування місії, запобігання зіткнення з численним перешкодам та координація завдань між роботами у відповідь на стан і зміни оточуючого середовища та завдань.

Для вирішення задач в багатоагентних системах використовуються 10 основних категорій алгоритмів групової поведінки:

–алгоритми консенсусу – визначаються як методи досягнення узгодження між різними агентами, які мають різні початкові стани чи інформацію. Ці алгоритми обмінюються інформацією щодо їхніх поточних станів та приймають рішення на основі цієї інформації. Вони забезпечують взаєморозуміння та узгодженість між агентами, що є важливим в різноманітних задачах, від розподіленого планування до управління мережами;

–алгоритми штучного потенціалу – використовують градієнт потенційної функції для навігації агентів в середовищі. Вони враховують атрактори (центри), що привертають агентів до певних точок, та відштовхування від перешкод, щоб уникати їх. Ці алгоритми є ефективними в роботі з рухомими роботами та автономними транспортними засобами для забезпечення безпечної та ефективної навігації;

–алгоритми контролю розподіленого зворотного зв’язку – базуються на розподілених алгоритмах зворотного зв’язку, де кожен агент взаємодіє зі своїми сусідами. Ці агенти коригують свої дії відповідно до отриманого від сусідів зворотного зв’язку. Такий підхід забезпечує синхронізацію та співпрацю в мережах агентів, що робить його застосовним в різних областях, включаючи бездротові мережі та розподілені системи управління;

–геометричні алгоритми – використовують інформацію про місцезнаходження та швидкість сусідів для вирішення задач просторової організації та планування шляху. Застосовуються в автономних рухомих роботах та системах навігації для забезпечення оптимального руху через складні території та уникнення зіткнень. Геометричні алгоритми часто використовуються в поєднанні з іншими алгоритмами, такими як алгоритми на основі штучного потенціалу або алгоритми контролю розподіленого зворотного зв’язку;

–алгоритми на основі станів – моделюють агентів як станові автомати, які можуть переходити в різні стани залежно від оточуючого середовища. Застосовують композицію поведінки для досягнення глобальних цілей, об’єднуючи локальні реакції на зовнішні подразники в цілісну стратегію;

–біологічні алгоритми – імітують біологічну поведінку зграй тварин, використовуючи обмежені ресурси та обмін інформацією. Ці алгоритми застосовуються у задачах оптимізації, де взаємодія та співпраця між агентами може призводити до ефективних рішень при обмежених ресурсах;

–алгоритми контролю на основі щільності – розглядають агентів як континуум та розвивають закони керування для досягнення заданої щільності. Ці алгоритми дозволяють ефективно керувати групами агентів в густонаселених областях, таких як урбаністичне середовище;

–алгоритми централізованої оптимізації – вирішують проблеми оптимізації, обмінюючи інформацію та обчисленнями між агентами та приймаючи глобальні рішення. Це застосовується у великих системах, де централізоване управління може полегшити обчислювальні завдання та забезпечити оптимальні рішення;

–розподілені алгоритми оптимізації – дозволяють агентам вирішувати проблеми оптимізації, обмінюючи інформацією та локальними обчисленнями. Це особливо важливо в розподілених системах, де централізована обробка даних може бути неможливою або недоречною;

–локальні алгоритми оптимізації є алгоритмами, спрямованими на покращення дій окремих агентів у системі. Основна ідея полягає в тому, щоб кожен агент діяв на основі своєї локальної інформації та власної цільової функції, без прямого участі або впливу інших агентів.

Щодо алгоритмів розподілу завдань, то їх є дуже багато. Більшість з них є підходами, які використовують аукціони. Два широко використовуваних підходи на основі аукціонів – це алгоритм аукціону на основі консенсусу (Consensus Based Auction Algorithm, CBAA) та алгоритм пакетного розподілу (Consensus Based Bundle Algorithm, CBBA). CBAA базується на призначенні одного завдання, коли агенту призначається одне завдання за один раз. CBBA – це алгоритм призначення пакетів завдань, де агенту призначається декілька завдань.

Алгоритм CBBA було вдосконалено кількома способами, зокрема, алгоритмом асинхронного консенсусу на основі пакетів (ACBBA), алгоритмом гібридного консенсусу на основі інформації та плану (HIPC), та алгоритмом впливу на продуктивність (PI).

ACBBA усуває необхідність координованої синхронної комунікації на етапі консенсусу в CBBA, тим самим мінімізуючи кількість використовуваних повідомлень, зберігаючи властивості збіжності CBBA.

HIPC об’єднує ідеї консенсусу глобальної ситуаційної обізнаності, консенсусу глобального плану і консенсусу локального плану, а також обробляє випадки, коли мережеві умови і цілі місії є динамічними для всієї команди. PI намагається оптимізувати математичну мету задачі і забезпечує безконфліктні рішення.

Інший клас децентралізованих алгоритмів використовує методи оптимізації для вирішення проблеми розподілу завдань. Їх можна розділити на підходи, що базуються на детермінованій або стохастичній оптимізації.

Децентралізований алгоритм на основі угорського методу (DHBA) є прикладом детермінованого алгоритму оптимізації, який використовує угорський метод для виконання розподілу завдань. На відміну від нього, алгоритм Ванга для розв’язання задачі розподілу завдань використовують алгоритм стохастичної антколоніальної (колонії мурах) оптимізації (Stochastic Ant Colony Optimization).

Висновки. Розглянуті алгоритми ефективно вирішують задачф призначення завдань, використовуючи аукціонний підхід та утворення «пакетів» завдань. Вони проявляють гнучкість та адаптивність, що робить їх відмінними у різних умовах, особливо в змінних середовищах. Додатково їхні можливості управління великою кількістю завдань та оптимізації обміну інформацією роблять їх ефективними в реальних сценаріях мультиагентних систем.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Parker L-E. Heterogeneous Multi Robot Cooperation. URL: https://www.researchgate.net/publication/34328142_Heterogeneous_multi-robot_ cooperation (дата звернення 20.05.2024).

2. Goldberg D. Heterogeneous and homogeneous robot group behavior. URL: https://cdn.aaai.org/AAAI/1996/AAAI96-241.pdf (дата звернення 20.05.2024).

3. Chen Y., Sun J. Distributed optimal control for multi agent systems with obstacles avoidance. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925231215013053 (дата звернення 20.05.2024).

4. Vatankhah R., Etemadi S., Alasty A., Vossoughi G. Adaptive critic based neuro fuzzy controller in multi agents: Distributed behavioral control and path tracking. URL: https://www.researchgate.net/publication/282407827_Adaptive_optimal_multi-critic_based_neuro-fuzzy_control_of_MIMO_ human_musculoskeletal_arm_model (дата звернення 20.05.2024).

СЕКЦІЯ «АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ У СФЕРІ ОСВІТИ, НАУКИ ТА ВИРОБНИЦТВА»

УДК 681.5

М. А. Вовк[1], П. О. Гуменюк[1], Ю.З. Вашкурак[2]
[1] Луцький національний технічний університет,
[2] Національний університет «Львівська політехніка»

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИНОМАТЕРІАЛУ ДЛЯ СУХИХ ВИН

Робота присвячена модернізації системи автоматизованого керування технологічним процесом виготовлення виноматеріалу для сухих вин. Модернізація системи автоматизованого керування суттєво вплине на якість, послідовність, ефективність і стійкість процесу виноробства, що дозволить зменшити витрати, оптимізувати використання ресурсів і забезпечити відповідність галузевим стандартам.

Ключові слова: виноматеріал, керування, модель, технологічні параметри, мікроконтролер ADAM-5000.

M. Vovk, P. Humeniuk, Y. Vashkurak. Automated process control system for the production of wine materials for dry wines. The article is devoted to the modernization of the automated control system for the technological process of manufacturing wine material for dry wines. The modernization of the automated control system will significantly affect the quality, consistency, efficiency and sustainability of the winemaking process, which will reduce costs, optimize resource use and ensure compliance with industry standards.

Keywords: wine material, control, model, technological parameters, microcontroller ADAM-5000.

Постановка проблеми. Історія виноробства сягає у найдавніші часи – 5-6 тисяч років тому. Але класична культура виноробства з’явилася приблизно у II столітті н.е. [1]. З тих пір виробництво і споживання вина розповсюдилось по всьому світу.

Посеред різних типів вин особливого поширення набули саме сухі вина, оскільки вони є універсальними в поєднанні з їжею, мають збалансований і складний смак, покращуються з віком, мають широку привабливість і адаптивність до смаків. Для створення високоякісних сухих вин вирішальне значення має якість сировини, що використовується для виробництва вина, адже від якості виноматеріалу залежить остаточний смак і аромат вина.

Етап підготовки виноматеріалу дозволяє максимально автоматизувати цей процес, щоб оптимізувати використання людського ресурсу на наступних етапах – купажування, створення неповторних смакових букетів, де втручання людини є обов’язковим.

Актуальність роботи полягає в тому, що модернізація системи керування може суттєво вплинути на якість, послідовність, ефективність і стійкість процесу виноробства. Модернізація автоматизованої системи керування виробництвом сухого вина є важливою для підвищення якості, ефективності та стійкості виробництва. Використовуючи сучасні технології, виноробні підприємства можуть виробляти незмінно високоякісні сухі вина, зменшити витрати, оптимізувати використання ресурсів і забезпечити відповідність галузевим стандартам.

Метою роботи є модернізація автоматизованої системи керування технологічним процесом виготовлення виноматеріалу для сухих вин..

Аналіз процесу. Основні етапи технології виготовлення вина включають в себе [1, 5-6]:

- збір винограду,
- первинну обробку ягід,
- дроблення,
- ферментацію,
- витримку,
- кларифікацію,
- бутилювання.

Основні етапи технології виготовлення вина показані на рисунку 1.

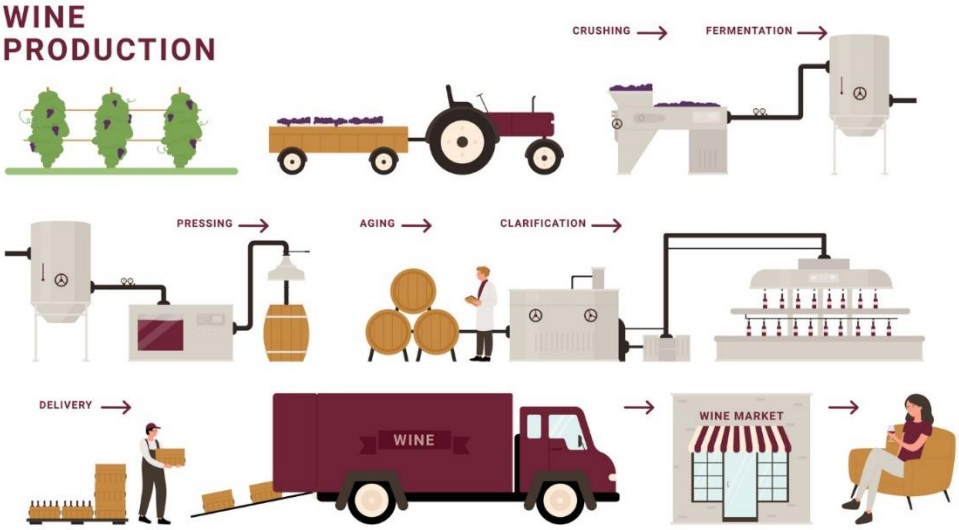


Рисунок 1 – Основні етапи технології виготовлення вина [1]

У даній роботі для виготовлення виноматеріалу розглянуто наступні процеси.

Виноград, прибувши на завод, потрапляє в бункер живильник, загрузившись до потрібного рівня (максимальний вміст бункера 50 тонн, час транспортування шнеку 20 тонн/год). Шнек подрібнює і транспортує його в відцентрову дробарку, продуктивність роботи якої не менше 20 т/год. Після проходження гребеневідділювальної машини, сировина насосом перекачеється в сульфодозатор, де в постійний потік до сусла додається сірчистий ангідрид для кращого бродіння. Сусло заповнює чан для бродіння, де вистоюється 5 днів, при цьому кожних 5 год. мішалки перемішують рідину. Насос перекачує сусло в стікач, де з сусла витискають сік. Мезга виводиться з процесу, а сік заповнює чан, куди порційовано додають дріжджі. Зброджений сік перемішується мішалками кожних 3 год. протягом 5 діб. Виноматеріал надходить на дозрівання в чан, де лабораторно контролюється його градус.

Основна частина. Для розробки системи автоматизованого керування технологічним процесом виготовлення виноматеріалу для сухих вин було вирішено ряд задач.

– Проведено аналіз технологічного процесу виготовлення виноматеріалу для сухих вин як об’єкту керування. Проаналізовано основні етапи технології виготовлення вина. Визначені параметри технологічного процесу виготовлення виноматеріалу для сухих вин, які повинні бути витримані. Поставлено задачі автоматизації, а саме: контроль і регулювання параметрів технологічного процесу та автоматичне керування виконавчими механізмами. Проаналізовано вхідні і вихідні величини та керуючі і збурюючі параметри для етапу бродіння сусла. Визначено, що до вхідних параметрів відноситься склад виноградного сусла, штам дріжджів та кількість сусла; до вихідних параметрів – вміст алкоголю, утворення CO_2, кількість залишкового цукру, кислотність і терпкість вина; керуючими параметрами є температура і тривалість бродіння та кількість доданих дріжджів; до збурюючих факторів відноситься коливання температури навколишнього середовища, якість дріжджіві коливання складу виноградного сусла у різних врожаях винограду. Розглянуть взаємодію ключових параметрів для етапу бродіння сусла.

– Розроблено функціональну схему автоматизації. Розглянуто ключові фактори, які необхідно враховувати при розробці функціональних схем. Проаналізовано схему технологічного процесу виготовлення виноматеріалу для сухих вин. Враховуючи особливості технологічного процесу, розроблено функціональну схему керування технологічним процесом виготовлення виноматеріалу для сухих вин. Розглянуто необхідність встановлення відповідних технічних засобів автоматизації. Розглянуто необхідність контролю параметрів технологічного процесу.

– Підібрано сучасні технічні засоби автоматизації. Розглянуто необхідність застосування та характеристики давачів і виконавчих пристроїв для автоматизованого керування технологічним процесом виготовлення виноматеріалу для сухих вин. Для моніторингу та контролю рівня продуктів на різних етапах виробництва виноматеріалу обрано ультразвуковий датчик Pepperl+Fuchs UB2000-30GM-H3. Для контролю тиску, прикладеного під час віджиму соку обрано датчика тиску WIKA A-10. Для вимірювання витрати діоксиду сірки обрано високоточний масовий витратомір Bronkhorst

EL-FLOW, а для вимірювання витрати дріжджів – витратомір Siemens Sitrans FM MAG 1100. Для контролю температури бродіння вина обрано датчик температури PT100. З виконавчих пристроїв вибрано насоси SEKO Duotek AF 0F 0050, електромагнітні клапани ODE 21H8KE120, частотний перетворювач ESMD 152 X2SFA від Lenze AC Tech, магнітні пускачі АСКО ПМ 1-12-01 220В та вимикачі кінцеві ВК-300. За кількістю вхідних і вихідних аналогових та дискетних сигналів підібрано модулі контролера ADAM 5000 серії. Розраховано характеристики і обрано блок живлення TDR-960-24 від MEAN WELL.

– Розроблено схему керування мікропроцесорними модулями. Проаналізовано принципові електричні схеми як інструмент для планування, побудови, обслуговування та усунення несправностей електричних і автоматизованих систем. Проаналізовано схеми підключень датчиків і пускових пристроїа клапанів та насосів на входи і виходи модулів контролера. Описано схеми підключень.

– Розроблено програмне забезпечення системи автоматизації. Розроблено алгоритм функціонування автоматизованої системи керування технологічним процесом виготовлення виноматеріалу для сухих вин. Побудовано блок-схему алгоритму. Розроблено програму роботи контролера у середовищі ADAMView.

– Розроблено динамічну модель ферментації виноматеріалу, яка дозволяє точно відтворювати процеси, що відбуваються під час бродіння, і забезпечує гнучкість у контролі змінних, які впливають на кінцеву якість продукту. На основі моделювання показано, що початкова фаза бродіння супроводжується швидким зростанням концентрації алкоголю, поки вміст цукру залишається високим і температура сприяє оптимальній активності дріжджів. З часом, зі зменшенням цукру та накопиченням етанолу, спостерігається зниження активності дріжджів та уповільнення процесу. Модель враховує випадкові збурення температури і рівня цукру, що наближає симуляцію до реальних умов виробництва.

– Виконано розрахунок економічної ефективності впровадження автоматизованої системи керування технологічним процесом виготовлення виноматеріалу для сухих вин. Виконано розрахунок економічної ефективності впровадження автоматизованої системи керування технологічним процесом виготовлення виноматеріалу для сухих вин. Модернізація виробництва дозволить пришвидшити етапи переробки сировини, що передують бродінню, внаслідок чого збільшити випуск продукції та вдосконалити контроль якості виноматеріалу.

Висновок. Таким чином, модернізація автоматизованої системи керування технологічним процесом виготовлення виноматеріалу для сухих вин є важливою для підвищення якості, ефективності та стійкості процесу. Використовуючи сучасні технології, виноробні підприємства можуть виробляти незмінно високоякісні сухі вина, зменшити витрати, оптимізувати використання ресурсів і забезпечити відповідність галузевим стандартам.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Путівник з вина: історія, технологія виробництва, класифікація та види, а також рекомендації щодо дегустації. URL: https://itc.ua/ua/articles/putivnyk-z-vyna-istoriya-tehnologiya-vyrobnytstva-klasyfikatsiya-ta-vydy-a-takozh-rekomendatsiyi-shhodo-degustatsiyi/ (дата звернення 15.04.2024).

2. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія виробництва та експертиза вин» / укладачі: В. І. Войцехівський, Г. І. Подпрятов, В. А. Насіковський, А. Ю. Токар, В. А. Бондаренко, М. В. Білько, А. І. Матвієнко. Київ: Національний університет біоресурсів і природокористування України, 2022. 159 с. URL: https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/ 123456789/35186/1/KL_ekspertyza% 20vyn_1_2022.pdf (дата звернення 15.04.2024).

3. Виробництво тихих вин. URL: https://foodtechnology.pro/tehnologiya-vyrobnytstva-vyna/vyrobnytstvo-tyhyh-vyn (дата звернення 15.04.2024).

4. Renato Colucci, Javier López-de-la-Cruz. Dynamics of fermentation models for the production of dry and sweet wine. *Communications on Pure and Applied Analysis*, 2020. №19(4). pp. 2015-2034. URL: https://www.aimsciences.org/article/doi/10.3934/cpaa.2020089 (дата звернення 15.09.2024).

УДК 681.5:631.544.4

П. В. Герасимчук, Л. Ю. Федік, О. О. Смолянкін, Л. М. Маркіна
Луцький національний технічний університет
E-mail: gerasymchuk11@ukr.net

ПЕРСПЕКТИВИ ТА ВИКЛИКИ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ З СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВІДХОДІВ

У роботі проведено аналіз технологічного процесу виробництва біогазу як об’єкта керування. Досліджено ключові технологічні параметри, які впливають на ефективність процесу, зокрема склад субстрату, температуру реактора та інші фактори, що визначають якість та кількість отриманого біогазу. Визначено, що стабільне підтримання цих параметрів є необхідним для оптимізації процесу та запобігання можливим відхиленням у якості продукції. На основі проведеного аналізу сформульовано постановку задачі на розробку системи керування виробництвом біогазу, що дозволить забезпечити автоматизацію та підвищити ефективність виробництва.

Ключові слова: біогаз, технологічний процес, система керування, субстрат, температура реактора, автоматизація, ефективність виробництва, контроль параметрів, виробництво біогазу.

P. V. Herasymchuk, L. Y. Fedik, O. O. Smolyankin, L. M. Markina perspectives and challenges of biogas production from agricultural waste. This paper analyzes the technological process of biogas production as a control object. Key technological parameters influencing the efficiency of the process were studied, including substrate composition, reactor temperature, and other factors that determine the quality and quantity of the produced biogas. It was determined that stable maintenance of these parameters is essential for optimizing the process and preventing potential deviations in product quality. Based on the conducted analysis, the task for the development of a biogas production control system has been formulated, which will enable automation and improve production efficiency.

Keywords: biogas, technological process, control system, substrate, reactor temperature, automation, production efficiency, parameter control, biogas production.

Проблема проблеми. Однією з основних проблем є недостатня ефективність процесів виробництва біогазу на основі різноманітних видів сировини та неповна оптимізація технологічних параметрів цього процесу. Дослідження технологій анаеробного бродіння та підвищення ефективності отримання біогазу є важливим для розвитку відновлювальних джерел енергії. Метою цієї статті є дослідження ефективності технології виробництва біогазу з сільськогосподарських відходів, визначення оптимальних параметрів ферментації та оцінка економічної доцільності впровадження біогазових установок в сільському господарстві для подальшої розробки автоматизованої системи керування даним процесом.

Об’єкт дослідження є технологічний процеси пов’язаний з виробництвом біогазу, а також органічні відходи, які можуть бути використані як сировина для його отримання, зокрема сільськогосподарські відходи, стічні води та органічні відходи з промисловості та побуту.

Виклад основного матеріалу. Процес виробництва біогазу складається з кількох етапів, включаючи підготовку сировини, її бродіння в анаеробних умовах та отримання газу. Основним джерелом сировини є органічні відходи, зокрема екскременти тварин, які містять значну кількість органічних сполук, що можуть бути перероблені в біогаз.

Одним із ключових факторів, що визначають ефективність цього процесу, є температура. Як показують дослідження, оптимальна температура для анаеробного бродіння коливається в межах 33–54°C. У цих умовах метаболічна активність бактерій, що відповідають за розклад органічних речовин, є максимальною. Важливу роль у процесі відіграє також вологість та кислотність середовища.

Значення має і склад органічної сировини. Наприклад, жири, що містяться в екскрементах, забезпечують більший вихід біогазу, а білкові сполуки сприяють утворенню газу з високим вмістом метану. Крім того, важливим є час перебування органічної маси в реакторі. Чим довше триває ферментація, тим більший вихід газу, проте зменшується його якість, оскільки вміст метану знижується, а рівень вуглекислого газу збільшується.

Після завершення процесу бродіння утворюється біодобриво — шлам, який містить велику кількість поживних речовин, зокрема аміак, фосфор і калій. Це робить шлам цінним для сільського господарства, оскільки він може бути використаний для покращення якості ґрунтів та збільшення врожайності.

Наступним етапом дослідження технологічного процесу є Аналіз технологічного процесу виробництва біогазу як об’єкта керування. Оскільки розробка та подальше впровадження автоматизованої системи передбачає детальне дослідження вхідних, вихідних та збурюючих факторів. Виробництво біогазу можна розглядати як об'єкт керування, де на основі заданих вхідних параметрів здійснюється контроль і регулювання кількох вихідних параметрів для досягнення бажаного результату — максимального виходу біогазу. Процес виробництва є складним і включає кілька етапів, таких як гідроліз, кислотне та метанове бродіння органічних відходів в анаеробних умовах. Основним завданням є забезпечення оптимальних умов для кожного етапу для стабільного виробництва біогазу (рис. 1).

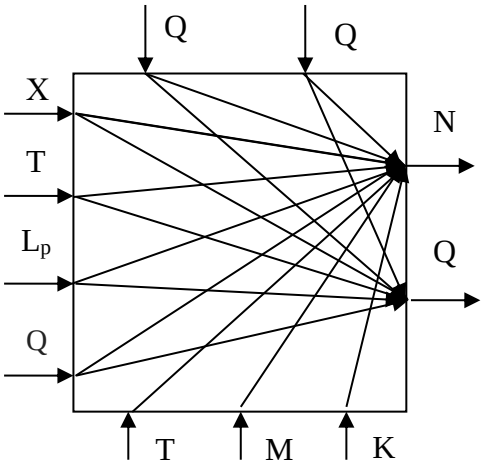


Рисунок 1 – Схема параметрів технологічного процесу

Вхідні параметри:

1. Хтс – тип і склад субстрату;
2. Т – температура середовища;
3. L_{pH} – рівень pH.;
4. $Q_{кв}$ – кількість та вологість органічних відходів.

Керуючі параметри:

1. $T_п$ – температура підтримки;
2. М – вологість;
3. KL – кислотно-лужний баланс (pH).

Вихідні параметри:

1. $N_б$ – Кількість біогазу;
2. $Q_б$ – Якість біогазу.

Збурюючі параметри:

1. $Q_{сс}$ – Зміни в складі сировини;
2. $Q_{сс}$ – Зміни в зовнішній температурі.

Вихід за межі допустимих значень вхідних параметрів призводить до порушення стабільності процесу та зменшення ефективності виробництва біогазу. Тому суворий контроль встановлених значень параметрів є надзвичайно важливим.

Проведений аналіз технологічного процесу виробництва біогазу як системи управління виявив, що ключовими факторами, які впливають на якість і кількість продукції, є склад і тип субстрату, температура в реакторі та рівень вологості. Забезпечення відповідності цим параметрам є необхідним для стабільного функціонування процесу та досягнення оптимальних результатів.

Для забезпечення ефективності технологічного процесу необхідно автоматизувати кілька ключових операцій. Система автоматизації повинна включати регулювання температури, контролювати час бродіння, рівень сировини в реакторах та кількість газу, що виділяється. Така

система дозволить знижувати витрати енергії, забезпечувати стабільність процесу та покращувати якість кінцевого продукту.

Аналіз показує, що впровадження технології біогазу є економічно вигідним рішенням, особливо в умовах сільського господарства, де утворюються великі обсяги органічних відходів. Окрім безпосередньої вигоди від отримання енергії та добрив, такі системи допомагають знизити витрати на утилізацію відходів і забезпечити екологічну стабільність.

Висновки. Проведені дослідження технологічного процесу виробництва біогазу з перспективою автоматизаціії виробництва, дозволило зробити наступні висновки:

1. Біогаз є важливим альтернативним джерелом енергії, що може використовуватися в сільському господарстві для виробництва тепла та електричної енергії.
2. Процес анаеробного бродіння органічних відходів залежить від багатьох факторів, зокрема температури, складу сировини та часу перебування в реакторі. Для досягнення максимального виходу газу важливо оптимізувати ці параметри.
3. Виробництво біогазу також дозволяє отримувати цінні побічні продукти у вигляді біодобрив, що сприяють підвищенню врожайності сільськогосподарських культур.
4. Впровадження біогазових технологій вимагає розвитку систем автоматизації, що дозволяють оптимізувати процеси виробництва та підвищити ефективність використання ресурсів.
5. Оцінка економічної доцільності показує, що біогазове виробництво є вигідним, особливо для сільських господарств, що мають велику кількість органічних відходів.

У майбутньому важливо зосередитися на розвитку нових методів оптимізації технологічного процесу виробництва біогазу, зокрема щодо вдосконалення систем контролю та автоматизації. Крім того, необхідно досліджувати можливість використання нових видів сировини для підвищення виходу біогазу та його якості.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Чижикова С.О. Основи технології біогазу: теоретичні та практичні аспекти. URL: https://biogas-technology.com.ua/technology (дата звернення 15.08.2024).
2. Петренко В.М., Сидоренко Т.П. Переробка органічних відходів для виробництва біогазу. URL: https://organic-waste-biogas.org.ua/research (дата звернення 15.08.2024).
3. Мірошниченко Л.В. Біогаз як джерело енергії: досвід та перспективи. URL: https://biogas-energy.com.ua/studies (дата звернення 15.08.2024).
4. Технології та перспективи біогазу і біометану в Україні. Розглянуто питання використання біометану для енергетичних потреб і як транспортного палива. Це джерело містить інформацію про сучасні системи видобування біогазу та можливості його використання для вироблення електроенергії і комерційних продуктів. URL: https://nas.gov.ua (дата звернення 16.10.2024).
5. Національний університет "Києво-Могилянська академія". Висвітлює різні джерела сировини для отримання біогазу, їхній хімічний склад та показники якості. Особливу увагу приділено використанню органічних відходів, гною, стічних вод та твердих побутових відходів для біогазового виробництва. URL: https://ekmair.ukma.edu.ua (дата звернення 16.10.2024).

УДК 681.5:631.544.4

А. В. Герасимчук, Л. Ю. Федік, О. О. Смолянкін, Л. М. Маркіна
Луцький національний технічний університет
E-mail: tanuag1970@gmail.com, fedikltsia@gmail.com, smoljankin@gmail.com, marckinaluda21@gmail.com

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИДІЛЕННЯ ІЗОБУТИЛЕНУ ЯК КЛЮЧОВОГО ПРОДУКТУ НАФТОХІМІЇ: ОГЛЯД І ПЕРСПЕКТИВИ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ І РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

У статті викладені фізико-хімічні процеси, що відбуваються під час розділення вуглеводневої сировини у процесах стабілізації та ректифікації, а також вплив ключових технологічних параметрів (температура, тиск, склад сировини) на ефективність виділення ізобутиленової фракції. Крім цього

запропоновано впровадження сучасної системи автоматизації систем контролю та регулювання параметрів.

Ключові слова: ізобутилен, процес, параметр, контроль, регулювання.

A. Gerasymchuk, L. Fedik, O. Smolyankin, L. Markin. Technological process of isolation of isobutylene as a key product of petrochemicals: review and prospects of automation of control systems and regulation of technological parameters. The article describes the physico-chemical processes occurring during the separation of hydrocarbon raw materials in stabilization and rectification processes, as well as the influence of key technological parameters (temperature, pressure, composition of raw materials) on the efficiency of isobutylene fraction separation. In addition, it is proposed to introduce a modern system of automation of control and parameter regulation systems.

Key words: isobutylene, process, parameter, control, regulation.

Постановка проблеми. Світовий досвід роботи сучасних виробництв показує, що неможливо підвищити якість продукції і знизити витрати на її випуск без широкого впровадження автоматизації технологічних процесів. Оскільки проведення технологічних процесів потребує високої точності виконання [1].

Проблемою нашого дослідження є забезпечення ефективності процесу ректифікації для отримання ізобутиленової фракції шляхом удосконалення технологічних параметрів, оптимізації обладнання та впровадження сучасних автоматизованих систем управління.

Огляд актуальних досліджень з проблеми. В останні роки питаннями процесу ректифікації займалися вчені Дев’ятов Б. М., Бутковський А. Г., Кубишкін В. О., Shinskey F. G, Holland C. D. А контролем процесу первинної переробки вуглеводневої сировини – Сатер Н. А, Григоров А. Б. Значний внесок у дослідження низькотемпературної ректифікації вуглеводневого конденсату вніс науковець Симоненко Д. С.

Зв'язок теми з важливими науковими та практичними проблемами. Технологічний процес ректифікації та стабілізації вуглеводневої сировини є метою виділення ізобутиленової фракції, включаючи обладнання, що використовується для реалізації цих процесів, та автоматизовані системи контролю і регулювання технологічних параметрів.

Цілі статті. Аналіз технологічного процесу виділення ізобутиленової фракції, визначення оптимальних параметрів процесу та дослідження впливу автоматизації на ефективність і стабільність роботи обладнання.

Основна частина. Процес виділення ізобутиленової фракції є важливою складовою переробки вуглеводнів для отримання хімічних продуктів, які широко застосовуються в нафтохімічній промисловості. Вихідна сировина для цього процесу – вуглеводневий конденсат, який містить суміш легких і важких вуглеводнів, включаючи компоненти серій C2-C5. Процес виділення ізобутиленової фракції складається з кількох етапів, кожен з яких має важливе значення в розділенні і концентрації окремих вуглеводневих фракцій [2, 3].

Технологічний процес виділення ізобутиленової фракції починається з подачі вуглеводневої сировини, що знаходиться у спеціальній ємності 1, рис. 1. Сировина подається насосом 2 у колону стабілізації 3, де відбувається відгін легких вуглеводнів C2 і C3. Пари цих вуглеводнів піднімаються вгору колони та конденсуються у конденсаторі 4 та пропановому конденсаторі 5. Потім вони надходять у сепаратор 11, де розділяються на рідку та газову фази. Несконденсовані пари відводяться в паливну мережу для використання як паливо, тоді як рідка фаза (конденсат) збирається у ємності 6 і частково повертається у колону як флегма за допомогою насоса 7. Флегма забезпечує підтримку рециркуляції та належне розділення компонентів у колоні стабілізації [4].

Кубова рідина з колони стабілізації самопливом надходить у колону ректифікації 8, де відбувається подальше розділення компонентів. У цій колоні здійснюється виділення ізобутиленової фракції від більш важких вуглеводнів C5 і вище. Пари ізобутиленової фракції піднімаються вгору колони, де вони конденсуються у конденсаторі 9 і надходять в ємність 12. Із неї насос 10 подає ізобутиленову фракцію на наступний етап переробки для виділення ізобутану. Кубова рідина колони 8, яка містить фракцію вуглеводнів C5 і вище, відкачується для зберігання або використання як абсорбент.

Для виділення ізобутиленової фракції застосовується насоси 2, 7 і 10, які транспортують рідкі вуглеводневі фракції між окремими стадіями процесу. Зокрема, насос 2 подає вихідну сировину в колону стабілізації, насос 7 повертає флегму в колону стабілізації, а насос 10 транспортує ізобутиленову фракцію на подальшу переробку [5].

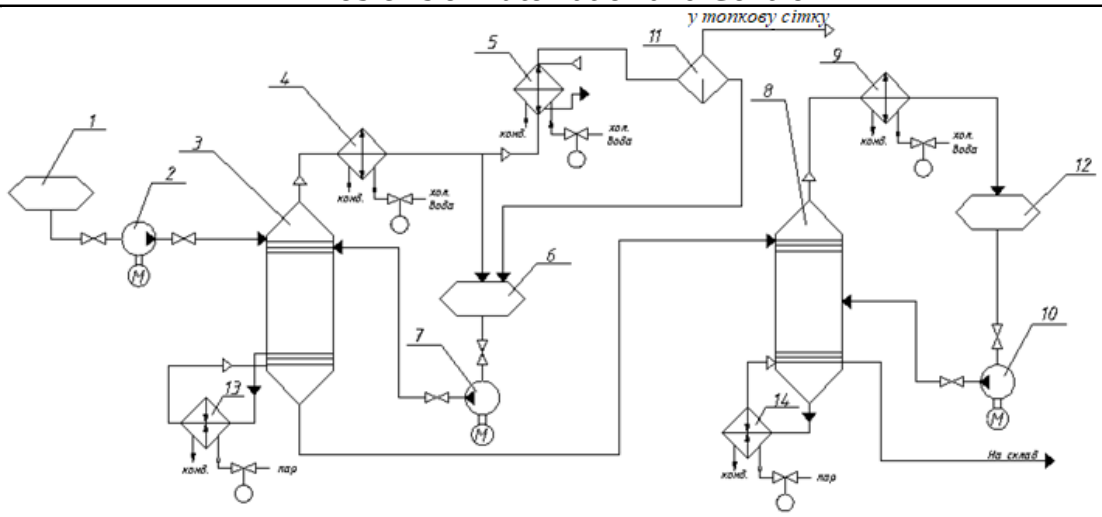


Рисунок 1 – Технологічна схема вузла виділення ізобутиленової фракції

Слід відмітити, що колона стабілізації 3 працює за принципом ректифікації для розділення легких вуглеводнів (С2 і С3) від решти компонентів. Процес ректифікації базується на різниці в температурі кипіння різних вуглеводнів. Пари піднімаються вгору колони, де вони поступово охолоджуються та конденсуються. Флегма, яка повертається в колону, забезпечує ректифікацію, тобто підвищення концентрації важчих вуглеводнів у рідкій фазі.

Колона ректифікації 8 також працює за принципом ректифікації, але її основна функція полягає у відділенні ізобутиленової фракції від більш важких вуглеводнів серій С5 і вище. Колона оснащена паровим кип'ятильником 14, який забезпечує теплопостачання процесу і підтримання необхідної температури для ефективного розділення компонентів [4].

Завдяки конденсаторам 4, 5 і 9 охолоджуються пари, що піднімаються в колонах, і переводять їх у рідкий стан. Зокрема, конденсатор 4 здійснює охолодження парів вуглеводнів С2 і С3, пропановий конденсатор 5 забезпечує додаткове охолодження парів пропану та інших компонентів, а 9 – охолоджує пари ізобутиленової фракції в колоні ректифікації.

Сепаратор 11 має особливе значення в розділенні конденсованих компонентів на рідку та газову фази. Він дозволяє відводити неконденсовані гази в паливну мережу, а рідку фазу повертати для подальшої переробки.

Процес виділення ізобутиленової фракції вимагає точного контролю температури, тиску та складу сировини на етапах виробництва ізобутилену. Регуляція тиску у колоні стабілізації 3 та колоні ректифікації 8 є надзвичайно важливою для підтримання ефективного розділення фракцій. Кип'ятильники 13 і 14, що працюють на пару, забезпечують належну температуру в кубі кожної колони, що також контролюється для уникнення перегріву чи недостатнього нагріву.

Технологічні параметри процесу виділення ізобутиленової фракції є ключовими для забезпечення ефективності та стабільності роботи всього обладнання. Основними параметрами, що контролюються і регулюються під час процесу, є температура, тиск, швидкість подачі сировини та кількість відбираних продуктів [3, 6].

Найпаче температура є одним із найважливіших параметрів на всіх стадіях процесу. Вона визначає, які компоненти будуть переходити в газову фазу, а які залишатимуться в рідкій. Для кожної з колон – стабілізації 3 та ректифікації 8 – встановлюються окремі температурні режими.

Колона стабілізації 3 відділяє легкі вуглеводні С2 і С3 шляхом підтримки температури, яка дозволяє вуглеводням С2-С3 випаровуватися і переходити в парову фазу. Зазвичай температура у верхній частині колони становить 20-30°С, а в кубі – 120-150°С.

У той же час колона ректифікації 8 розділяє ізобутиленову фракцію від важчих вуглеводнів С5+. Температура в кубі колони зазвичай підтримується 160-180°С, що забезпечує випаровування ізобутилену та його підйом у верхню частину колони, де він конденсується за температури 30-50°С.

Крім температури важливим параметром для стабільного протікання процесу є тиск. Для ефективного відділення легких фракцій тиск у колоні стабілізації 3 необхідно підтримувати в межах 0,5-1,0 МПа. Його перевищення сприятиме конденсації важчих компонентів і зниженню об'єму газоподібних вуглеводнів. А для відділення ізобутиленової фракції тиск у колоні ректифікації 8 має становити 0,2-0,5 МПа. У разі його підвищення може виникнути погіршення якості розділення і збільшення витрат на енергію, тому даний параметр має контролюватися автоматично.

Поза тим швидкість подачі сировини та кількість повернутої флегми значно впливають на ефективність розділення компонентів. Сировина (вуглеводневий конденсат) подається в колону стабілізації насосом 2. Швидкість її подачі залежить від потужності обладнання та необхідної продуктивності процесу і зазвичай становить 50-100 м³/год.

Кількість флегми, яка повертається в колону стабілізації 3 за допомогою насоса 7, також є важливим параметром якості ректифікації. Відношення флегми до пари зазвичай знаходиться в межах 1,5:1 – 3:1 залежно від складу сировини і температурного режиму.

Кількість відбираних продуктів на кожному етапі процесу виділення ізобутилену контролюється і регулюється залежно від потреб виробництва та властивостей сировини. Ізобутиленова фракція відбирається з верхньої частини колони ректифікації 8 і збирається в ємності 12. Кількість відбираної фракції залежить від складу сировини, температурного режиму, продуктивності процесу, і зазвичай становить 20-30% загальної маси сировини.

Кубова ж рідина, що складається з важчих вуглеводнів серії С5 і вище, відкачується для зберігання або подальшого використання. Її кількість регулюється відповідно до складу сировини і параметрів процесу.

Таким чином, для забезпечення ефективності процесу необхідно підтримувати оптимальні технологічні параметри, що забезпечують максимальне розділення вуглеводнів і мінімізують енергетичні втрати.

Для забезпечення точного контролю технологічних параметрів процесу запропоновано впровадження сучасної системи автоматизації на базі промислових контролерів серії ADAM 4000. Ці контролери забезпечують надійну взаємодію з давачами, виконавчими механізмами та іншими пристроями в реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на відхилення від оптимальних параметрів.

Для моніторингу та управління процесом рекомендуються новітні давачі температури, тиску, рівня рідини, концентрації компонентів у паровій і рідкій фазах. Давачі підключаються до контролерів ADAM 4000 через стандартні промислові інтерфейси, такі як Modbus RTU або TCP. Високоточні сенсори дозволяють отримувати дані з мінімальною похибкою, що є критично важливим для процесів, які вимагають стабільності та точності.

Завдяки використанню математичних моделей для симуляції роботи ректифікаційної установки є можливість визначити оптимальні технологічні параметри та сценарії роботи. Моделювання дає можливість провести чисельний аналіз впливу різних факторів на процес, передбачити наслідки їх змін і розробити рекомендації для їх автоматичного регулювання.

Вказані удосконалення процесу сприятимуть зниженню енерговитрат і забезпеченню екологічної безпеки. Зокрема, завдяки впровадженню автоматизованого управління досягатиметься оптимальний розподіл теплових потоків, мінімізація втрат тепла та зниження обсягів відходів виробництва.

Висновки. Розроблена система автоматизації на базі контролерів серії ADAM 4000 та новітніх давачів дозволяє підвищити ефективність процесу ректифікації ізобутиленової фракції, забезпечити стабільність якості продукції та знизити енергетичні витрати. А застосування сучасних технологій автоматизації робить можливим значне вдосконалення виробничого процесу з урахуванням екологічних і економічних вимог.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Федік Л. Ю., Сіваковська О. М. Особливості застосування комп’ютерних технологій під час автоматизації виробничих процесів. «Актуальні проблеми автоматизації та управління»: матер. XI-ої Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Вип. 11. Луцьк, 2023. С. 42–48

2. Керування процесами розділення ізобутилену: Практичні рекомендації / Євтушенко О. В. Львів: НУ "Львівська політехніка", 2019. 144 с.

3. Сучасні технології виділення вуглеводнів / Дорошенко В. О. Харків: ХНУ ім. Каразіна, 2020. 312 с.

4. Автоматизація процесів ректифікації: Програмне забезпечення і контроль / Лисенко А. М. Одеса: ОНАХТ, 2021. 222 с.

5. Насосні установки для подачі вуглеводневої сировини. URL: https://oilequipment.com/nasosnye-ustanovky (Дата звернення 15.08.2024).

6. Конденсатори для нафтохімічної промисловості. URL: https://chemtech.com.ua/ua/kondensatori-nafto (Дата звернення 12.08.2024).

УДК 681.5.03

О.І. Мачуга, О. М. Решетило, Смолянкін, Л. М. Маркіна, В.О. Сацик
Луцький національний технічний університет
E-mail: omackyga@gmail.com

АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА СПИРТУ ЗАВДЯКИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ ЗАМІСУ

У статті було проведено детальний аналіз сучасного стану автоматизації технологічного процесу виробництва спирту з фокусом на етапі приготування замісу. Основними аспектами дослідження були приготування замісу як ключовий етапом, де сировина (крохмалевмісне зерно) змішується з водою, ферментами та іншими компонентами, досліджено зв'язки між вхідними, вихідними та збурюючими факторами і виділено параметри, які найбільше впливають на ефективність і стабільність процесу.

Проведене дослідження має великий потенціал для розвитку харчової промисловості, зокрема спиртової галузі. Впровадження результатів дослідження дозволить підвищити ефективність виробництва, якість продукції та конкурентоспроможність підприємств.

Ключові слова: спиртова промисловість, автоматизація, приготування замісу, гідроферментативна обробка.

O.I. Machuga, O.M. Reshetylo, Smolyankin, L. M. Markina, V.O. Satsyk. Aspects of increasing the efficiency of alcohol production due to the automation of the technological process of batch preparation. The article provides a detailed analysis of the current state of automation of the technological process of alcohol production with a focus on the stage of batch preparation. The main aspects of the study were the preparation of the batch as a key stage where the raw material (starch grain) is mixed with water, enzymes and other components, the relationship between input, output and disturbing factors was investigated, and the parameters that most affect the efficiency and stability of the process were identified.

The study has great potential for the development of the food industry, in particular the alcohol industry. Implementation of the research results will increase production efficiency, product quality and competitiveness of enterprises.

Keywords: alcohol industry, automation, batch preparation, hydrofermentation treatment.

Постановки проблеми. У сучасних умовах розвитку технологій виробництва спирту є актуальним завданням підвищення ефективності, якості та продуктивності виробництва шляхом впровадження автоматизованих систем керування. Одним із ключових етапів технологічного процесу є підготовка замісу, що визначає подальшу якість продукції та енергоефективність. Підготовка замісу включає такі етапи: дозування сировини, контроль температури, вологості та концетрації. Невідповідність параметрів на цьому етапі може призвести до втрат сировини та зниження якості кінцевого продукту. Для забезпечення стабільної якості спирту необхідний високоточний контроль параметрів, таких як кількість компонентів, їх пропорції та параметри змішування.

На сьогоднішній день заводи, які займаються виробництвом спирту використовують чимало сучасних засобів автоматизації, таких як мікропроцесорні контролери та сенсори для контрою та регулювання параметрами процесу. Проте впровадженні системи автоматичного регулювання потребують системного підходу до впровадження та підтримки. Зокрема такі науковці, як Маринченко В., Процан Н., дослідники Національного університету харчових технологій (НУХТ) та фахівці агротехнологічних центрів (AgroTechnology) пропонують свої рішення [1,2]:

1. Впровадження мікропроцесорних систем керування з використанням нечіткої логіки;
2. Модернізація обладнання для досягнення більшої точності процесу;
3. Інтеграція дезінтеграторних установок для підвищення ефективності використання ферментів;
4. Використання SCADA-систем для автоматизації збору даних та їх аналізу.

Оскільки об'єктом дослідження для автоматизованої системи керування ділянкою підготовки замісу є **технологічний процес приготування замісу** в спиртовому виробництві, тому ми пропонуємо комплексний підхід при впровадженні та реалізації автоматизованої САР, яка забезпечить не лише вирішення окремих завдань, але і забезпечить ефективне управління процесом в цілому.

Виклад основного матеріалу. Для реалізації комплексного підходу в автоматизації процесу виробництва спирту, зокрема ділянки підготовки замісу, потрібно виконати кілька ключових кроків. Вони включають підготовку технічної бази, впровадження програмного забезпечення, інтеграцію систем та навчання персоналу. Окрім аналізу існуючих технологічних рішень на досліджуваній ділянці відіграє важливу роль **визначення ключових параметрів автоматизації**, які в свою чергу дозволяють виділити критичні етапи, що потребують автоматизації і мають визначальний вплив на якість та кількісні показники виробленої продукції.

Для виявлення критичних параметрів технологічного процесу приготування замісу для початку детально розглянемо технологію виробництва. З технологічної точки зору сировиною для виробництва спирту може слугувати будь-який матеріал, що містить збражуваний цукор або вуглеводи, які можуть бути перетворенні у зброджуваний цукор.

Для отримання високоякісного харчового спирту використовуються зернові культури.

У процесі виробництва в основному спирт утворюється з крохмалю. Крохмаль як резервний матеріал в значних кількостях нагромаджується в бульбах картоплі (до 20 % маси сировини) і зернах злаків (до 80% маси сировини).

По хімічному складу гранули неоднорідні і складаються із двох полісахаридів, мінеральних речовин, жирних кислот та білків рисунок 1.

Основна задача водно-теплової обробки складається в підготовці сировини до оцукрення крохмалю аміолітичними ферментами солоду або мікроорганізмів. Оцукрювання найбільш повно із найбільшою швидкістю протікає, якщо крохмаль вивільнений з рослинних кліток сировини і пройшов стадії клейстеризації і розчинення, що забезпечує тісний контакт його з ферментами [3].

Підготовка сировини до оцукрювання проводиться шляхом теплової обробки цілої сировини при підвищеному тиску (розвареним) або механічним подрібненням сировини до певних розмірів часток з подальшим розварением під меншим тиском (комбінована обробка диспергуванням і теплом).

При проведені водно-теплової обробки змінюються структурно-механічні властивості сировини, одночасно відмічаються і значні хімічні перетворення речовин, що входять в її склад [4].

Рисунок 1 – Хімічний склад гранул

Зерно на виробництво автотранспортом після зважування подають в приймальний бункер, а потім в елеватор. З елеватора зерно подають у проміжний збірник, а з нього через вагу зерно надходить на дробарку. В корпусі дробарки встановлено сито з діаметром отворів 1,8мм. При цьому досягають якості помелу не менше , ніж 90 % проходу через сито з діаметром 1мм. Помел із дробарки 6 надходить на дезмембратор 7 для ефективного змішування помелу на початку виробництва з холодною водою, а надалі при роботі брагоректифікаційного апарата з гарячою післядефлегматорною водою до 70-80 ºС. Співвідношення подрібненого зерна та води становить 1:2,5 - 1:3,5 певних об'ємів холодної і гарячої води. Змішаний з водою помел поступає в збірник приготування замісу, де підтримується температура 70-74ºС. У збірник приготування замісу подають також необхідну кількість розріджуючого ферментного препарату Термаміл, загальна норма якого становить 0,8кг на 1т крохмалю сировини [4].

Далі заміс подають на гостропарову контактну головку, де його підігрівають до температури 90-92ºС і направляють в перший апарат гідро ферментативної обробки, температура в цьому апараті підтримується на рівні 88-90ºС. Маса по нижній переточній комунікації надходить в другий апарат

гідро ферментативної обробки, де температура підтримується на рівні 86-88°С. Далі маса по верхній переточній комунікації надходить в третій апарат гідро ферментативної обробки, температура в ГДФО-3 підтримується на рівні 80-82°С. Масу в трьох апаратах постійно перемішують. Тривалість перебування маси в апаратах ГДФО- 3,5-4 години . Після того, як в ГДФО-3 досягається необхідний рівень маси і її подають на охолодження в теплообмінник . Масу охолоджують до температури складки 18-20°С і направляють в бродильний апарат. Метою забезпечення мікробіологічної чистоти середовища в вакуум-оцукрювач при потребі вводять розчин антисептику [4].

Фільтрат сусла з розчином йоду перед зброджуванням (проба на йод) має колір від червоно-коричневого до синьо-фіолетового. В зону теплообмінника, де температура становить 50-55°С задають оцукруючий ферментний препарат.

Кожний технологічний процес характеризується основними змінними параметрами:

–змінні, які описують стан процесу. В процесі регулювання стан цих змінних потрібно підтримувати сталим або змінювати в необхідному напрямку. Точність стабілізації змінних стану технологічного процесу залежить від вимог, які встановлюються регламентом, і можливостей системи регулювання. Дані змінні вимірюються, як правило, безпосередньо або ж обчислюються за іншими відомими параметрами технологічного процесу;

–змінні, за допомогою яких можна впливати на об'єкт з метою керування ним. Ці змінні складають сукупність регульованих величин;

–змінні, відхилення яких не пов'язане з дією системи регулювання. Вони визначають вплив на об'єкт керування зовнішніх умов, змінюючи характеристики самого об'єкта. Їх називають збурюючими впливами, які можна (або не можна) вимірювати.

Аналіз технологічного процесу як об’єкта керування передбачає розгляд та оцінку його статичних та динамічних параметрів, їх залежність від зовнішнього впливу, а також взаємозв’язок в процесі регулювання та контролю.

Представивши технологічний процес виробництва спирту з детальною розробкою підробного відділення у вигляді “чорної скриньки” (рисунок 2 та 3), визначаємо вхідні та вихідні параметри системи, а також збурюючі фактори.

Для етапу приготування замісу такими параметрами є: $t_{зерна}$ – температура зерна, що надходить в бункер; tсуміші – температура суміші, що знаходиться в чані замісу; Qзерна – кількість зерна, що надходить в дезмембратор; $Q_{суміші}$ – кількість суміші, що подається в чан замісу; tохолод. – температура охолодження суміші у теплообміннику; Q_1 – кількість води, що подається в чан. Збурюючі фактори: температура води; температура навколишнього повітря.

Для ділянки термоферментативної обробки: P – тиск в гостропаровій контактній головці; T1 – температура при ГДФО-1; T2 – температура при ГДФО-2; T3 – температура при ГДФО-3; t1 – час гідро ферментативної обробки в першій ємкості; t2 – час гідро ферментативної обробки в другій ємкості; O – однорідність замісу; N – якісний показник маси.

Зміна хоча б одного із вхідних параметрів на недопустиму похибку критично позначається на вихідних параметрах готового продукту. У випадку стабілізації зазначених змінних величин забезпечується виконання поставленої технологічної задачі.

Висновки. Детальне дослідження технологічного процесу та аналіз вхідних, вихідних та збурюючих факторів дав можливість встановити критичні параметри, серед яких:

1. Температура. Високі або низькі температури можуть порушити процес гідролізу крохмалю ферментами, що вплине на якість сусла;
2. Концентрація сухих речовин (СР). Відхилення можуть спричинити проблеми з в'язкістю сусла, перешкоджаючи нормальному перебігу ферментації;
3. Гідромодуль (співвідношення вода/зерно). Важливий для забезпечення оптимальної густини сусла;
4. В'язкість сусла. Надмірно висока в'язкість ускладнює транспортування сусла трубопроводами та його обробку;
5. pH середовища. Відхилення можуть вплинути на активність ферментів і процес бродіння;
6. Дозування ферментних препаратів. Надлишок призводить до підвищення витрат, а нестача — до недостатнього оцукрення крохмалю;
7. Час перемішування. Має бути достатнім для рівномірного розподілу компонентів, але не надто довгим, щоб уникнути розшарування сусла.

Всі ці параметри є взаємопов’язаними, і їх контроль у реальному часі є ключовим завданням автоматизованих систем управління, а точний контроль забезпечить стабільну якість продукції, економію сировини та енергії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Процан, Н. В., & Ткаченко, Л. В. (2021). Активація ферментів під час розварювання житніх замісів підвищеної концентрації. Технічні науки та технології, (1(19), 241–249с.
https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-1(19)-241-249

2. Бабич І.М., Бойко П.М., Бондар М.В. "Технологічні та економічні аспекти виробництва спирту етилового різного цільового призначення" // *Наукові праці.* Одеська національна академія харчових технологій, 2021. 77-83с.
DOI: https://doi.org/10.15673/swomft.v2i84.1879.

3. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — Вид. 2-ге, виправлене. — К.: Вид. Ліра-К, 2015. 378 с.

4. Технологія спирту. В.О.Маринченко, В.А.Домарецький, П.Л.Шиян, В.М.Швець, П.С.Циганков, І.Д.Жолнер. /Під ред. проф. В.О.Маринченка. Вінниця: "Поділля-2000", 2003. 496 с.

УДК 519.6

О. М. Решетило, Ю. С. Лапченко, В. Р. Цесар
Луцький національний технічний університет

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД АВТОМИЙКИ

Робота присвячена проектуванню автоматизованої системи керування технологічним процесом очистки стічних вод автомийки. Проведено аналіз технологічного процесу, як об’єкта керування, та визначено задачі досліджень. Розроблено функціональну схему автоматизації, вибрано технічні засоби автоматизації та контролер. Розроблено принципову електрична схему підключення датчиків та виконавчих механізмів до модулів контролера, програму функціонування контролера, електричну схему зовнішніх з’єднань та щит керування. Проведено розрахунок економічної ефективності доцільності впровадження автоматизованої системи керування.

Ключові слова: автоматизована, система, керування, технологічний, процес, очистка, стічні води, контролер, програма, щит керування.

O. Reshetylo, Ju. Lapchenko, V. Cesar. Automated system for the technological process of car wash wastewater treatment. The work is devoted to the design of an automated control system for the technological process of car wash wastewater treatment. The technological process as a control object was analyzed, and research tasks were defined. A functional automation scheme was developed, technical means of automation and a controller were selected. A schematic electrical diagram of connecting sensors and actuators to the controller modules, a controller operation program, an electrical diagram of external connections and a control panel were developed. The economic efficiency of the feasibility of implementing an automated control system was calculated.

Keywords: automated, system, control, technological, process, wastewater treatment, controller, program, control panel.

Постановка проблеми. Розробка автоматизованої системи керування технологічним процесом очистки стічних вод автомийки є надзвичайно важливою через кілька ключових факторів:

1. Екологічні вимоги.

Стічні води автомийок містять нафтопродукти, мийні засоби, важкі метали та інші шкідливі речовини, які при неконтрольованому скиданні в навколишнє середовище можуть завдати значної шкоди. Законодавство багатьох країн, включаючи Україну, постійно посилює вимоги до очищення стічних вод, що вимагає запровадження ефективних систем контролю та управління.

2. Економічна ефективність.

Автоматизована система дозволяє оптимізувати використання ресурсів, таких як вода, енергія та хімічні реагенти, що знижує операційні витрати підприємств. Вона також мінімізує ризики штрафів за недотримання екологічних стандартів.

3. Покращення якості очищення.

Використання автоматизованих систем керування дозволяє здійснювати безперервний моніторинг і швидко реагувати на зміни параметрів стічних вод. Це забезпечує стабільну роботу процесу очищення та підвищує ефективність вилучення шкідливих речовин.

4. Оптимізація праці та мінімізація людського фактору.

Автоматизація зменшує необхідність у постійному ручному втручанні в процес, знижуючи ймовірність помилок, спричинених людським фактором, і полегшує контроль за технологічними параметрами.

5. Стійкий розвиток та репутація.

Використання екологічно безпечних технологій позитивно впливає на репутацію компанії серед клієнтів і партнерів. Підприємства, які впроваджують такі рішення, можуть отримати переваги в умовах конкуренції, особливо в контексті посилення вимог до екологічної відповідальності бізнесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз технологічного процесу очистки стічних вод автомийки показав, що керування технологічним процесом здійснюється лише в ручному режимі з використанням технічних засобів релейного типу, таким чином це не дозволяють забезпечити необхідну точність підтримання технологічних параметрів, система керування має значну інерційність, не може спрогнозувати необхідність заміни фільтрів, тому не може забезпечити екологічність та енергоефективність технологічного процесу.

Технологія очищення та відведення зворотних вод від миття транспорту забезпечує очищення забруднених вод до нормативних показників та спрямована на збереження та раціональне використання водних ресурсів, що є особливо актуальним зважаючи на стрімко зростаючий дефіцит чистої води на всій планеті. Очисні споруди забезпечують очищення зворотних вод від миття автомобілів та забруднених дощових вод до якості, що необхідна для їх повторного використання у зворотному циклі.

Склад зворотних вод від миття автомобілів та забруднених дощових вод наведено в таблиці 1 (на основі даних автомийок м. Луцьк).

Таблиця 1 – Склад зворотних вод від миття автомобілів та забруднених дощових вод

№ з/п	Найменування показника	Одиниця вимірювання	Концентрації		
			Виробничі води від миття автомобілів	Забруднені дощові води	Суміш виробничих і дощових вод
1	Завислі речовини	мг/л	2800	1000	1200
2	БСК5	мг O_2/л	180	120	145
3	ХСК	мг O_2/л	310	180	240
4	Нафтопродукти (масла)	мг/л	100	50	70
5	СПАР	мг/л	10	-	4,7
6	Сухий залишок	мг/л	1850	500	1130
7	pH	од.	6,5-8,0	6,5-8,5	6,5-8,5

Для забруднених дощових, талих вод та вод від миття транспорту визначальною забруднюючою речовиною для вибору методів їх очистки є завислі речовини, концентрація яких в цих водах значно – в 10-100 раз перевищує гранично допустимі концентрації на скидання зворотних вод у водойми. Ці забруднення можуть бути віднесені до I групи дисперсності, які найбільш раціонально вилучаються на установках та спорудах механічної очистки (пісковловлювачах, нафтовловлювачах, гідроциклонах, проціджувачах, ситах, відстійниках та ін.). Ступінь очистки цих вод від грубодисперсних завислих речовин на цих спорудах досягає 85-90%, але навіть залишкова концентрація 20-40 мг/л не відповідає нормативним вимогам, які дозволяють водовідведення зворотних вод з концентрацією завислих речовин менше 12-15 мг/л.

Не менш значними забруднювачами таких вод є дрібнодисперсні завислі речовини, речовини колоїдного ступеню дисперсності, нафтопродукти в стані емульсій. В забруднених дощових водах органічні високомолекулярні забруднюючі речовини, як розчинні, так і колоїдного ступеню дисперсності, контролюються за хімічним споживанням забрудненою водою кисню (ХСК) або біохімічному споживанню кисню за 5 діб (БСК5).

Для вилучення домішок ІІ групи дисперсності (колоїдів, високомолекулярних речовин в емульсованому і розчиненому стані) доцільно використовувати установки «Флокфіл». Вони являють собою блочно-модульний комплекс з блоками флокуляції, флотації, відстоювання, фільтрування та, при необхідності, біосорбції та біоокислення. В блоці флокуляції відбувається корегування окислювально-відновлювального потенціалу (Eh) завдяки подачі повітря, а також використанню різноманітних препаратів (флокулянтів, біопрепаратів). В процесі флокуляції відбувається також укрупнення дрібнодисперсних домішок, змінюється їх агрегатний стан. В блоках флотації та відстоювання відбувається процес розподілу фаз з видаленням забруднень в шлам та осад, які видаляються в блок аеробної стабілізації та ущільнення осаду, куди додатково вводяться біопрепаратів для біосорбції та біоокислення органічних речовин.

В блоках фільтрування установок «Флокфіл» освітлені води проходять через модифіковане пінополістирольне завантаження, або поліпропіленовий волокнистий матеріал, на яких іммобілізовані за спеціальною методикою мікроорганізми-біодеструктори, що дозволяє суттєво зменшити забруднення попередньо освітлених вод розчиненими нафтопродуктами та СПАР.

Дослідження якості очищених на установках «Флокфіл» методами механічної та фізико-біохімічної очистки зворотних вод показали, що в ряді випадків вони потребують доочистки за показниками ХСК, БСК5 СПАР та біогенних елементів.

Спорудою, що здійснює глибоку доочистку вод завдяки життєдіяльності симбіозу гідробіонтів – мікроорганізмів, безхребетних, водоростей, вищих водних рослин (очерет, рогоза), вологолюбних рослин (верба) – є закрите біоплато гідропонного типу.

Закрите біоплато гідропонного типу з прикріпленими на інертному субстраті угрупованнями мікроорганізмів може працювати на протязі року, так як воно термоізольоване об’ємним волокнистим інертним матеріалом, який не перешкоджає проростанню вищих водних рослин. Їх кореневища навіть взимку вилучають з води забруднення. Закрите біоплато гідропонного типу не має відкритого дзеркала води, що виключає розвиток комарів та інших комах на об’єкті в теплий період року.

Таким чином, очищені зворотні води можуть бути використані повторно як для технологічних потреб (миття транспорту), так і для проведення поливних та мийних робіт на території підприємств, для поливу газонів та інших зелених насаджень, тощо. Осад, до складу якого входять завислі речовини та біомаса мікроорганізмів-деструкторів нафтопродуктів, після зневоднення направляється на утилізацію в якості добрива для зелених насаджень.

Враховуючи склад забруднених вод доцільно використати методи механічної, фізико-хімічної очистки та біологічної доочистки з використанням наступних блоків:

І - механічна очистка за допомогою гідроциклонів;

ІІ - фізико-хімічна очистка на установці «Флокфіл»;

ІІІ - біологічна доочистка на біоплато з вищими водними рослинами.

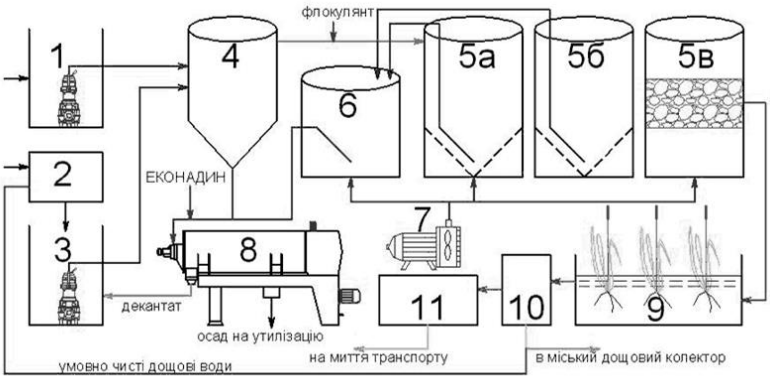


Рисунок 1 – Технологічна схема очистки забруднених дощових, талих вод і вод від миття транспорту:

1 – приймальна камера скидних вод від миття транспорту, 2 – розподільча камера дощових вод, 3 – накопичувач-усереднювач забруднених дощових вод, 4 – гідроциклон, 5 – установка «Флокфіл»: 5а – флотатор, 5б – відстійник, 5в – фільтр, 6 – стабілізатор, 7 – повітродувка, 8 – установка механічного зневоднення осаду, 9 – закрите біоплато гідропонного типу з біопрепаратом-деструктором нафтопродуктів, 10 – резервуар очищених вод, 11 – знезараження

Склад очищених вод з використанням технології «Потенціал-4» наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Склад очищених вод з використанням технології «Потенціал-4»

№ з/п	Найменування показника	Одиниця вимірювання	Концентрації	
			Очищені води	З використанням доочистки
1	Завислі речовини	мг/л	20,0	12,0
2	БСК5	мг O_2/л	25,0	15,0
3	ХСК	мг O_2/л	95,0	80,0
4	Нафтопродукти (масла)	мг/л	2,0	0,3
5	СПАР	мг/л	2,5	0,5
6	Сухий залишок	мг/л	1129	1000
7	pH	од.	6,5-8,0	6,5-8,5

Для досягнення найкращої якості очищення забруднених дощових, талих вод і вод від миття транспорту під час процесу необхідно дотримуватись параметрів технологічного процесу, які наведенні в таблиці 3.

Постановка завдання.

Вимоги до системи автоматизації:

1) автоматичне контроль та підтримання рівня води в ємностях;
2) контроль та підтримання температури на всіх стадіях протікання технологічного процесу;
3) забезпечення якісного дозування компонентів, які використовуються технологічному процесі;
4) автоматичне регулювання вмісту кисню в воді на виході з установки;
5) контроль та підтримання pH води на виході з установки;
6) облік витрати холодної води;
7) облік витрати флокулянта;
8) облік витрати еконадину;
9) захист від аварійних режимів, автодіагностика і тестування;
10) можливість переведення системи на ручне керування;
11) автоматичну зупинку технологічного процесу в разі виникнення небезпечних та аварійних ситуацій.

Таблиця 3 – Параметри технологічного процесу очищення забруднених дощових, талих вод і вод від миття транспорту

№ з/п	Параметр	Одиниці вимірювання	Значення	Відхилення
1	Завислі речовини	мг/л	12,0	±0,1
2	БСК5	мг O_2/л	15,0	±0,1
3	ХСК	мг O_2/л	80,0	±1
4	Нафтопродукти (масла)	мг/л	0,3	±0,05
5	СПАР	мг/л	0,5	±0,05
6	Сухий залишок	мг/л	1000	±1
7	pH	од.	6,5-8,5	±1
8	Наявність кисню в воді (не більше)	мкг/л	50	±1
9	Вміст вільної вуглекислоти	-	відсутність	-
10	Тиск води на вході в гідроциклон	МПа	3,8	±0,1
11	Температура води на виході з установки	°C	5-20	±1

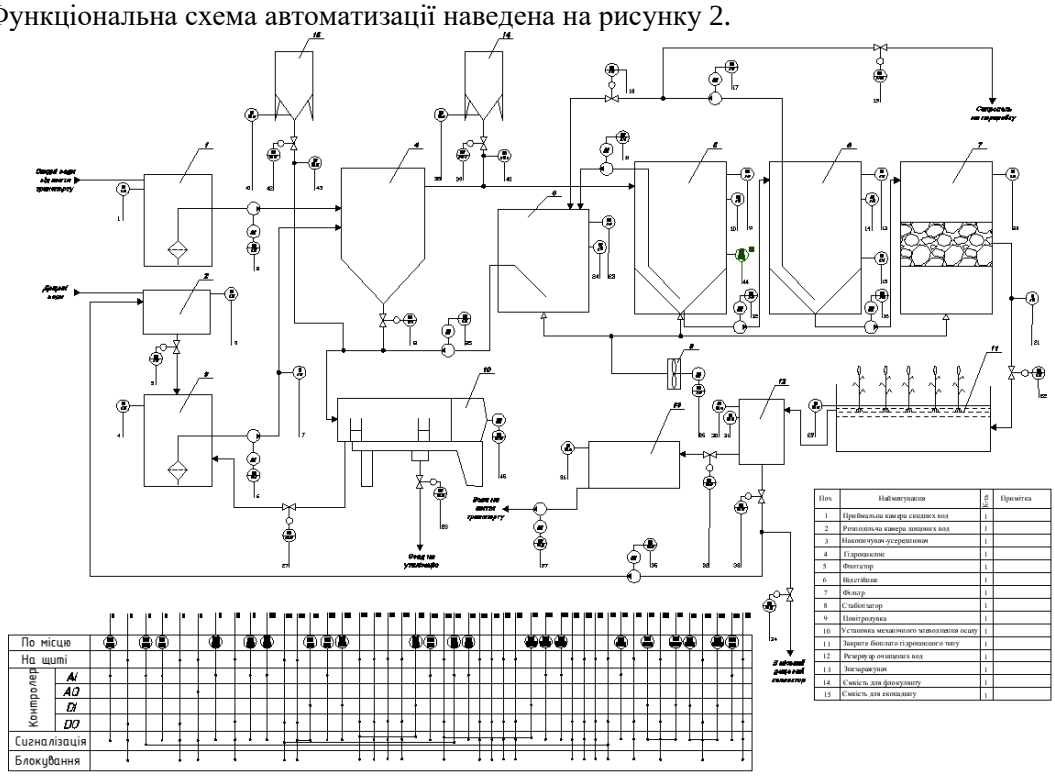
Система керування повинна проводити діагностику всіх вимірювальних кіл, сигналізувати їх пошкодження і зупиняти роботу системи, в якій виявлено пошкодження вимірювального кола.

Система керування повинна контролювати стан увімкненого обладнання та сигналізуючи його пошкодження.

Проведений аналіз технологічного процесу роботи системи очистки стічних вод автомийки, як об’єкта керування, показав, що основним технологічним параметром, що суттєво впливає на якість очищення води є кількість та температура дощових вод.

Виклад основного матеріалу.

Функціональна схема автоматизації наведена на рисунку 2.



Поз.	Найменування	Кіль	Примітка
1	Приймальна камера скидних вод	1	
2	Розподільча камера дощових вод	1	
3	Накопичувач-усереднювач	1	
4	Гідроциклон	1	
5	Флотатор	1	
6	Відстійник	1	
7	Фільтр	1	
8	Стабілізатор	1	
9	Повітродувка	1	
10	Установка механічного зневоднення осаду	1	
11	Закрите біоплато гідроциклого типу	1	
12	Резервуар очищених вод	1	
13	Знезаражувач	1	
14	Ємкість для флокулянту	1	
15	Ємкість для еконадину	1	

Рисунок 2 – Функціональна схема автоматизації

Розроблена автоматизована система керування технологічним процесом очищення стічних вод автомийки працює наступним чином.

Скидні води від миття транспорту самопливом поступають в приймальну камеру скидних вод 1. Рівень води в приймальній камері контролюється датчиком LE 1-1 аналогового типу. За допомогою насоса, електродвигун приводу якого вмикається за допомогою пускача NS 1-3, скидні води через забірний фільтр, що розміщений в приймальній камері, поступають в гідроциклон 4, де відбувається їх механічна очистка від твердих частинок, масел та палива. Частково очищені скидні води з гідроциклона по трубопроводу поступають у флотатор 5.

Дощові води самопливом поступають в розподільчу камеру дощових вод 2. Рівень води в розподільчій камері контролюється датчиком LE 2-1 аналогового типу. За допомогою насоса, електродвигун приводу якого керується за допомогою частотного перетворювача NS 3-4, дощові води через забірний фільтр, що розміщений в розподільчій камері, поступають в гідроциклон 4, де відбувається їх механічна очистка від твердих частинок, масел та палива. Частково очищені дощові води з гідроциклона по трубопроводу поступають у флотатор 5.

При відкритті електроклапана NS 4-1 осад з гідроциклона 4 по трубопроводу самопливом поступає в установку механічного зневоднення осаду 10, де за допомогою шнека, електродвигун приводу якого вмикається за допомогою пускача NS 10-3, відбувається його механічне обезводнення. Для покращення процесу відділення осаду від води в установку механічного зневоднення осаду 10, при відкритті електроклапана NS 15-3, з ємкості 15 самопливом поступає еконадин. Кількість еконадину, що поступає в установку механічного зневоднення осаду 10, контролюється за допомогою витратоміра FE 15-4. Нижній рівень еконадину в ємкості 15 контролюється датчиком LE 15-1 дискретного типу. При відкритті електроклапана NS 10-1 витіснена вода з установки механічного зневоднення осаду 10 поступає у камеру дощових вод 2. А при відкритті електроклапана NS 10-2, осад, до складу якого входять завислі речовини та біомаса мікроорганізмів-деструкторів нафтопродуктів, після зневоднення направляється на утилізацію в якості добрива для зелених насаджень.

Після гідроциклона, для вилучення домішок II групи дисперсності (колоїдів, високомолекулярних речовин в емульсованому і розчиненому стані), відбувається фізико-хімічна

очистка води на установці «Флокфіл», яка являє собою блочно-модульний комплекс з блоками флокуляції, флотації, відстоювання, фільтрування та, при необхідності, біосорбції та біоокислення, і складається з трьох апаратів: флотатора 5, відстійника 6 та фільтра 7.

Рівень води, що поступає з гідроциклона 4, у флотаторі 5 контролюється датчиком LE 5-1 аналогового типу. В блоці флокуляції відбувається корегування окислювально-відновлювального потенціалу (Eh) завдяки подачі повітря, а також використанню різноманітних препаратів (флокулянтів, біопрепаратів). В процесі флокуляції відбувається також укрупнення дрібнодисперсних домішок, змінюється їх агрегатний стан. При заповненні його водою на 30% з ємкості 14 при відкритті електроклапана NS 14-3, з ємкості 14 самопливом поступає флокулянт. Кількість флокулянтуу, що поступає у флотатор 5, контролюється за допомогою витратоміра FE 14-4. Нижній рівень флокулянту в ємкості 14 контролюється датчиком LE 14-1 дискретного типу. В блоках флотації та відстоювання відбувається процес розподілу фаз з видаленням забруднень в шлам та осад, які видаляються в блок аеробної стабілізації та ущільнення осаду, куди додатково вводяться біопрепаратів для біосорбції та біоокислення органічних речовин. При протіканні даних процесів відбувається нагрівання води, температура якої контролюється за допомогою датчика TE 5-3. Оптимальна температура протікання цих процесів становить 20-36 °С, яка підтримується у флотаторі шляхом подачі додаткової води, що поступає з гідроциклона. Рівень pH води у флотаторі контролюється за допомогою датчика QE 5-7, який підтримується у флотаторі шляхом подачі додаткової порції флокулянту з ємкості 14. За допомогою насоса, електродвигун приводу якого вмикається за допомогою пускача NS 5-6, частково очищена вода з флотатора 5 поступає у відстійник 6.

Осад з флотатора за допомогою насоса, електродвигун приводу якого вмикається за допомогою пускача NS 5-5, направляється в стабілізатор 8.

Верхній рівень води, що поступає з флотатора 5 у відстійник 6, контролюється датчиком LE 6-1 дискретного типу, а рівень осаду в ньому – за допомогою датчика рівня LE 6-3 дискретного типу. При протіканні біосорбції та біоокислення органічних речовин відбувається нагрівання води, тому температура у відстійнику контролюється за допомогою датчика TE 6-3. За допомогою насоса, електродвигун приводу якого вмикається за допомогою пускача NS 6-7, частково очищена вода відстійника 6 поступає у фільтр 7.

Верхній рівень води, що поступає з відстійника 6 у фільтр 7, контролюється датчиком LE 7-1 дискретного типу. В блоці фільтрування освітлені води проходять через модифіковане пінополістирольне завантаження, або поліпропіленовий волокнистий матеріал, на яких іммобілізовані за спеціальною методикою мікроорганізми-біодеструктори, що дозволяє суттєво зменшити забруднення попередньо освітлених вод розчиненими нафтопродуктами та синтетичними поверхнево активними речовинами (СПАР).

Осад з відстійника за допомогою насоса, електродвигун приводу якого вмикається за допомогою пускача NS 6-8, при відкритті електроклапана NS 6-9, у рідкому вигляді в якості сапропелю йде на переробку, або ж, при відкритті електроклапана NS 6-10, направляється в стабілізатор 8. Температура осаду в стабілізаторі контролюється за допомогою датчика TE 8-3. Після витримки певного часу вода осадом з стабілізатора за допомогою насоса, електродвигун приводу якого вмикається за допомогою пускача NS 8-5, перекачується в установку механічного зневоднення осаду 10.

Для покращення протікання процесів у нижню частину флотатора 5, відстійника 6 та фільтра 7 за допомогою повітродувки 9, електродвигун приводу якої вмикається за допомогою пускача NS 9-1.

Фільтруючі елементи потребують періодичної заміни. Степінь забрудненості фільтруючого елемента контролюється за допомогою датчика тиску PI 7-3 аналогового типу, що вмонтований в трубопровід відведення освітлених вод з фільтра 7 до закритого біоплато гідропонного типу 11 з вищими водними рослинами для біологічної доочистки.

Дослідження якості очищених на установках «Флокфіл» методами механічної та фізико-біохімічної очистки зворотних вод показали, що в ряді випадків вони потребують доочистки за показниками ХСК, БСК5 СПАР та біогенних елементів. Спорудою, що здійснює глибоку доочистку вод завдяки життєдіяльності симбіозу гідробіонтів – мікроорганізмів, безхребетних, водоростей, вищих водних рослин (очерет, рогоза), вологолюбних рослин (верба) – є закрите біоплато гідропонного типу.

Закрите біоплато гідропонного типу з прикріпленими на інертному субстраті угрупованнями мікроорганізмів може працювати на протязі року, так як воно термоізольоване об’ємним

волокнистим інертним матеріалом, який не перешкоджає проростанню вищих водних рослин. Їх кореневища навіть взимку вилучають з води забруднення. Закрите біоплато гідропонного типу не має відкритого дзеркала води, що виключає розвиток комарів та інших комах на об’єкті в теплий період року.

Верхній рівень води на біоплато 11 контролюється датчиком LE 11-1 дискретного типу.

З біоплато 11 чиста вода самопливом поступає в резервуар очищених вод 12. Рівень води в резервуарі очищених вод 12 контролюється датчиком LE 12-1 аналогового типу, а її температура – датчиком TE 12-2, та регулюється шляхом відкривання/закривання електроклапана NS 7-5.

Для повторно використання для технологічних потреб (миття транспорту), проведення поливних та мийних робіт на території підприємства, для поливання газонів та інших зелених насаджень, тощо, при відкритті електроклапана NS 12-5 очищені зворотні води поступають у знезаражувач 13. Рівень води в знезаражувачі 13 контролюється датчиком LE 13-1 аналогового типу. Вода для миття транспорту та поливання подається насосом, електродвигун приводу якого вмикається за допомогою пускача NS 13-3.

З резервуара очищених вод 12 вода при її надлишку може скидатись в міський дощовий колектор, для чого відкриваються електроклапани NS 12-6 та NS 12-7, а бо ж йти на повторне очищення, тоді при відкритті електроклапана NS 12-6 та насоса, електродвигун приводу якого вмикається за допомогою пускача NS 12-8, вони транспортуються в розподільчу камеру дощових вод 2.

На рисунку 3 приведена принципова електрична схема під’єднання датчиків та виконавчих механізмів до модулів вводу/виводу контролера ADAM серії 4000.

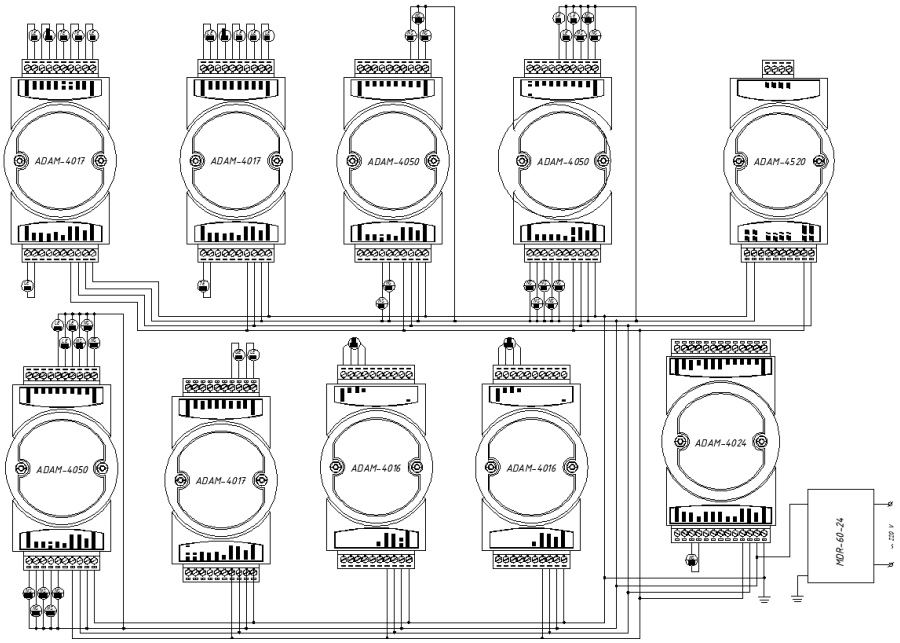


Рисунок 3 – Принципова електрична схема

Для збору інформації з датчиків рівня, температури та тиску, використаємо 8-ми канальний модуль аналогового вводу ADAM-4017. Оскільки ми маємо всього 13 пристроїв з вихідним аналоговим сигналом у 4-20 мА, то необхідно три модуля ADAM-4017. Дані датчики підключаються по двохпровідній схемі на входи даних модулів.

Оскільки вимірювальним елементом витратомірів є тензорезистор, то для їх підключення використовуємо модуль підключення тензоопорів ADAM-4016.

Для підключення датчиків рівня дискретного типу використаємо модулі дискретного вводу/виводу ADAM-4050. Дані датчики підключається по двохпровідній схемі, один контакт на вхід контролера а інший на живлення. Ці ж модулі використаємо і для формування керуючих дискретних сигналів. Пристрої на які подаються дискретні сигнали підключаються на виходи DO0-DO7.

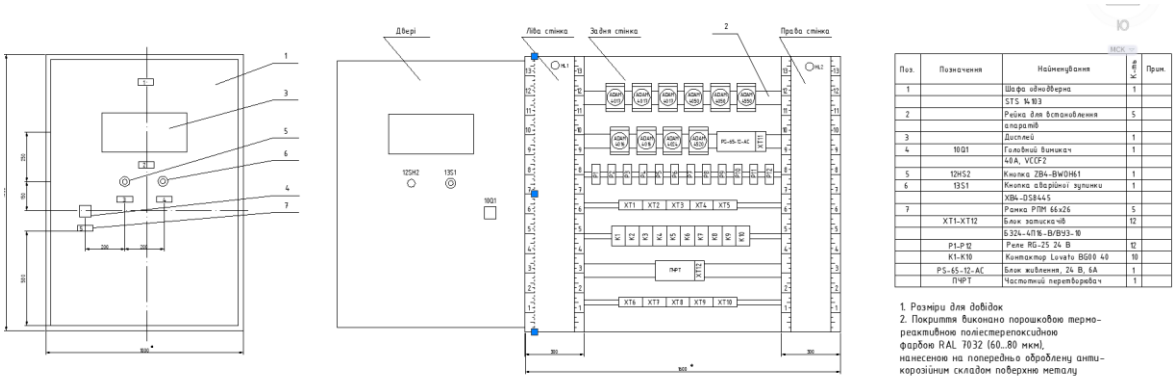
Модуль перетворення інтерфейсів RS-232 в RS-422/485 ADAM-4520 використовуємо для передачі даних між головним комп'ютером та іншими модулями. Дані між модулем ADAM-4520 та іншими контролерами передається по двох лініях DATA+ та DATA-.

Всі модулі живляться від загального блоку живлення фірми Mean Well DR-120-24 на 24 В постійного струму потужністю у 120 Вт, який підключений до загальної мережі 220В змінного струму.

Програму керування технологічним процесом для модулів контролера ADAM 4000 розробляємо в середовищі Adam View.

На фасадному виді щита керування (рис. 4) показано розташування приладів, а саме:

- сигнальні табло з надписами – 1 шт. і сигнальна лампа ввімкнення резервного живлення;
- головний вимикач;
- дисплей технологічний – 1 шт.;
- кнопка аварійної зупинки;
- модулі мікроконтролера ADAM серії 4000:
  модуль цифрового вводу/виводу ADAM-4050 – 3 шт.,
  модуль аналогового вводу ADAM-4017 – 3 шт.,
  модуль підключення тензирезисторів ADAM-4016 – 2 шт.,
  модуль аналогового виводу ADAM-4024 – 1 шт.,
  модуль перетворення інтерфейсу ADAM-4520 – 1 шт.;
- реле RG-25 – 12 шт.;
- контактори Lovato BG00 40 – 9 шт.;
- блоки затискачів - 11 шт.;
- реле RG-25 – 12 шт.;
- блок живлення PS-65-12 - AC 24 В, 6 А – 1 шт.



Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
1		Шафа одностороння	1	
		STS 14.103		
2		Рейка для встановлення	5	
		апаратів		
3		Дисплей	1	
4	16Q1	Головний вимикач	1	
		48A, VCCF2		
5	12H52	Кнопка ZB4-BW0H61	1	
6	13S1	Кнопка аварійної зупинки	1	
		XB4-DS8445		
7		Рамка PIM 66x26	5	
	XT1-XT12	Блок затискачів	12	
		6324-4016-8/B93-10		
	P1-P12	Реле RG-25 24 В	12	
	K1-K10	Контактор Lovato BG00 40	10	
	PS-65-12-AC	Блок живлення, 24 В, 6А	1	
	ПЧРТ	Частотний перетворювач	1	

Рисунок 5 – Загальний вигляд щита керування

На внутрішніх панелях щита керування розташовані:

а) схема релейного захисту;
б) джерело живлення (PS-65-12 - AC);
в) автоматичні вимикачі;
г) зборки комутаційних затискачів;
д) запобіжники;
є) схема ввімкнення резервного живлення з сигналізацією;
ж) розетка, внутрішнє освітлення щита.

Проведений розрахунок економічної ефективності доцільності впровадження розробленої автоматизованої системи керування технологічним прцесом очищення стічних вод автомийки показав, що для цього потрібно придбати контрольно-вимірювальні прилади та засобів автоматизації на суму 29640 грн., загальні капітальні витрати становлять 105880 грн.

Висновки: Реалізація розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом очистки стічних вод автомийки, дозволить не тільки підвищить екологічність, а і підвищити ефективність роботи системи та зменшити витрати на електроенергію та води.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

Planenkompostierung - Kompostierung unter semipermeable Planenabdeckungen. Kuhner Michael. Bioabfallkompostierung: Neue Entwicklungen und Losungsmoglichkeiten zur Reduzierung von

Geruchsemissionen. Wiesbaden:Hess. Landesamt Umwelt und Geol. 2001, с. 29–37.

Діренко Г.О, Подзерей Т.М. Інженерні аспекти впровадження очисних споруд поверхневого стоку // Водопостачання та водовідведення. Київ, 2015. № 3. С. 60-64.

Діренко Г.О. Проблема впровадження очисних споруд поверхневого стоку з урбанізованих територій // VI Міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення» : Зб. наук. ст. у 2-х т. Т.1/ УкрНДІЕП. Х.: Райдер, 2010. с. 91-295.

Удод В.М., Діренко Г.О. Вирішення проблеми екологічної безпеки навколишнього середовища при очистці поверхневого стоку з урбанізованих територій // Екологічна безпека та природокористування. Київ, 2008. № 1. С. 86-97.

Діренко Г.О. Водовідведення від котеджів // Особняк (архітектурно-будівельний журнал). 2006. № 1 (40). С. 103.

УДК 519.6

О. М. Решетило, Л.М. Маркіна, М. М. Ярошик
Луцький національний технічний університет

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА СИЛІКАТНОЇ ЦЕГЛИ

Робота присвячена проектуванню автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва силікатної цегли. Проведено аналіз технологічного процесу, як об’єкта керування, та визначено задачі досліджень. Розроблено функціональну схему автоматизації, вибрано технічні засоби автоматизації та контролер. Розроблено принципову електрична схему підключення датчиків та виконавчих механізмів до модулів контролера, розроблено програму функціонування контролера, електричну схему зовнішніх з’єднань. Розроблено програмне забезпечення вищого рівня в SCADA-системі Genesis 32. Проведено розрахунок економічної ефективності системи автоматизації.

Ключові слова: автоматизована система, керування, технологічний процес, виробництво, силікатна цегла, контролер, програма, щит керування.

O. Reshetylo, L. Markina, M. Jaroshyk. Automated system for controlling the technological process manufacturing process of silicate bricks

The work is devoted to the design of an automated control system for the technological process of silicate brick production. The technological process as a control object was analyzed, and research tasks were defined. A functional automation scheme was developed, technical means of automation and a controller were selected. A schematic electrical diagram of connecting sensors and actuators to the controller modules was developed, a controller operation program was developed, and an electrical diagram of external connections was developed. Higher-level software was developed in the Genesis 32 SCADA system. The economic efficiency of the automation system was calculated.

Keywords: automated system, control, technological process, production, silicate brick, controller, program, control panel.

Постановка проблеми. Розробка автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва силікатної цегли є актуальною з наступних причин:

1. Підвищення продуктивності: Автоматизація технологічного процесу дозволяє значно підвищити швидкість і ефективність виробництва. Автоматичні системи можуть безперервно контролювати та оптимізувати параметри виробництва, такі як температура, тиск, склад сировини, що призводить до зменшення часу на виготовлення продукції.

2. Покращення якості продукції: Завдяки автоматизованому контролю всіх етапів виробництва, можливо забезпечити більш стабільні та прогнозовані характеристики силікатної цегли. Це важливо, оскільки від дотримання технологічних параметрів залежить міцність, морозостійкість та інші показники якості цегли.

3. Зниження витрат на виробництво: Автоматизація зменшує потребу у великій кількості працівників, знижує витрати на енергію та сировину завдяки оптимізації процесів. Крім того, система здатна швидко виявляти несправності або відхилення, що зменшує втрати через неякісну продукцію.

4. Підвищення безпеки на виробництві: Автоматизовані системи можуть виконувати небезпечні або важкі процеси без участі людини, що знижує ризики для здоров'я працівників і сприяє безпечнішій організації праці.

5. Екологічні переваги: Оптимізація технологічних процесів сприяє раціональному використанню ресурсів та зниженню кількості відходів, що важливо в контексті сучасних вимог до екологічності виробництва.

6. Можливість інтеграції з іншими системами: Автоматизована система керування може бути інтегрована з системами обліку та управління ресурсами, що дозволяє забезпечити комплексний підхід до планування та управління підприємством.

Проведений аналіз технологічного процесу виробництва силікатної цегли, що керування технологічним процесом здійснюється морально застарілими технічними засобами автоматизації та не дозволяє забезпечити необхідну точність підтримання технологічних параметрів, має значну інертність, тому не може забезпечити високу якість продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. «Основним компонентом силікатної цеглини (85-90% за масою) є пісок, тому заводи з виробництва силікатної цегли розміщують, як правило, поблизу родовищ піску (піщаних кар'єрів). Склад і властивості піску впливають на якість силікатної цегли.

Пісок – це рихле скупчення зерен різного мінерального складу розміром 0,1-5 мм. За походженням пісок поділяється на природний та штучний.

Останній, у свою чергу, поділяється на відходи при подрібненні гірських порід, подрібнені відходи від спалювання палива та подрібнені відходи металургії.

За призначенням їх можна розділити на піски для бетонних і залізобетонних виробів, розчинів для кладок та штукатурки, силікатної цегли» [1].

Вапно є другою складовою частиною сировинної суміші, що необхідна для виготовлення силікатної цегли.

«Сировиною для виробництва вапна є карбонатні породи, що містять не менше 95 % вуглекислого кальцію $CaCO_3$. До них відносяться щільний вапняк, вапняковий туф та вапняк-черепашник. Всі ці матеріали є осадковою гірською породою, що утворилася основним чином в результаті відкладання на морському дні продуктів життєдіяльності тваринних організмів.

Вапняк складається з вапняного шпату – кальциту та деякої кількості домішок: вуглекислого магнію, солей заліза, глини та інших, від яких залежить забарвлення вапняку. Зазвичай він буває білим або різних відтінків сірого та жовтого. Якщо вміст глини у вапняках становить більше 20 %, то вони називаються мергелями, а вапняки з великим вмістом вуглекислого магнію – доломітами» [1].

При виробництві силікатної цегли вода використовується на всіх стадіях технологічного процесу: для гасіння вапна, приготування силікатної маси, пресування і пропарювання цегли-сирцю.

«Природна вода ніколи не буває абсолютно чистою. Найбільш чистою є дощова вода, однак і вона містить різні домішки, що попали в неї з повітря (розчинені гази, пил та мікроорганізми). Розчинених речовин в такій воді небагато, тому вона називається м'якою. Вода, що містить велику кількість вуглекислих солей кальцію та магнію (карбонатних), називається жорсткою.

Застосовувати жорстку воду в промислових цілях без попереднього пом'якшення не можна, оскільки при кипінні на стінках промислових ємностей утворюється накип» [1].

Для отримання силікатної маси необхідної якості необхідно забезпечити правильне дозування компонентів.

Основними компонентами суміші є вапно, пісок та вода.

«Середній вміст активного вапна в силікатній масі становить 6-8%. При використанні свіже випаленого вапна без сторонніх домішок і недопалу кількість її може бути зменшено, якщо ж у вапні міститься велика кількість каменю та сторонніх домішок, а також якщо вапно довго зберігалося на повітрі, її норма повинна бути збільшена. Переважно використовується вапно активністю 70-85%. Активність вапна, що надходить у виробництво часто змінюється, тому для одержання маси із заданою активністю потрібно часто змінювати в ній кількість вапна.

Необхідна кількість піску відмірюється за об'ємом, а вапно – за вагою.

Окрім вапна та піску, складовою частиною силікатної маси є вода, яка необхідна для повного гасіння вапна. Вода також додає масі пластичність, що необхідна для пресування цегли-сирцю, та створює сприятливе середовище для протікання хімічної реакції твердіння цегли при її пропарюванні.

Кількість води на одиницю продукції (1000 шт. цегли чи 1м^3 силікатної маси), що необхідна для доведення вологості силікатної маси до потрібної величини, можна розрахувати в залежності від вологості піску в кар'єрі. Загальна витрата води для одержання силікатної маси високої якості складає близько 13% (від ваги маси) і поділяється наступним чином:

– на гасіння вапна – 2,5%;
– на випарювання при гасінні – 3,5%;
– на зволоження маси – 7,0%.

Щоб досягти правильного співвідношення всіх складових компонентів, застосовують спеціальні дозатори» [1].

Вапняно-піщану суміш готують двома способами: барабанним та силосним.

Підготовлені вапно і пісок у заданому співвідношенні подаються живильниками в одновальну мішалку безперервної дії та зволожують.

«Перемішана і зволожена маса надходить у силоси, де витримується від 4 до 10 годин, протягом яких вапно гаситься. Силос являє собою циліндричну ємність, висота якої становить 8-10 м, а діаметр – 3,5-4 м. В нижній частині він має конусоподібну форму. Силос розвантажується за допомогою тарілчастого живильника на стрічковий транспортер, при цьому відбувається значне виділення пилу. При вилежуванні в силосах маса часто утворює зводи. Причиною цього є відносно висока ступінь вологості маси, а також ущільнення та часткове твердіння її при вилежуванні. Для кращого розвантаження силосу необхідно забезпечити вологість маси 2-3%.

Всередині силос розділений перегородками на три секції. Маса завантажується в кожну із секцій протягом 2,5 годин, стільки часу потрібно для її розвантаження. До моменту заповнення силосу, нижній шар встигає вилежатися протягом 2,5 годин. тоді секція вистоюється 2,5 години, після чого її розвантажують. Таким чином, нижній шар гаситься протягом близько 5 годин. Тому що розвантаження силосів відбувається тільки знизу, а проміжок між розвантаженнями складає 2,5 години. Всі наступні шари також витримуються протягом 5 годин у безперервно діючих силосах. Для покращення розвантаження періодично включають вібратор, що розміщений на стінці силосу, чим зменшують прилипання маси до стінок. При більш серйозних зависаннях маси в силосах її розвурушують ломами через розвантажувальні вікна» [1].

Розвантаження силікатної маси з бункерів є механізованим. Розподільні щітки на транспортерній стрічці піднімають механічним пневмопідйомником. Над транспортерною стрічкою, що подає силікатну масу, встановлені розподільні щітки, що переміщаються вертикально по рамі. Опускання і піднімання щіток над стрічкою здійснюється з пульта керування, що оснащений світловою сигналізацією і пристроєм, що регулює подачу повітря в пневмоциліндри.

Процес пресування цегли складається з наступних основних операцій: наповнення прес-форм масою, пресування сирцю, виштовхування сирцю на поверхню столу, зняття цегли-сирцю зі столу та вкладання її на вагонетки.

Силікатна маса, приготовлена в силосах, передається за допомогою транспортерної стрічки в бункер над прес-мішалкою преса. Подача маси в прес-мішалку повинна регулюватися так, щоб вона займала приблизно 3/4 об'єму прес-мішалки. Зволожена маса ножами прес-мішалки, при їх обертанні, подається в прес-форми через отвори в дні прес-мішалки. При повороті столу преса, прес-форми, наповнені масою, переміщаються на визначений кут і займають положення між поршнем, що пресує, і верхньою стороною плити контрштампу. Під тиском поршень поступово піднімається і здійснюється пресування сирцю.

«В момент пресування, стіл преса зупиняється, а ножі прес-мішалки обертаються і заповнюють масою наступну пару прес-форм. Після пресування стіл преса повертається так, щоб штампи преса разом із сирцем підійшли до поршня. Сирець виштовхується поршнем у вертикальному напрямку, верхня пластина штампа при виштовхуванні виходить із прес-форм на 3-5 мм вище рівня столу. Сирець виштовхується з прес-форми і поршень опускається вниз у початкове положення. Після зняття пари цеглин, стіл повертається і штампи підводяться під механічну щітку для очищення» [1].

Верхні пластини очищуються від налиплої маси, штампи опускаються на величину наповнення прес-форм і цикл починається знову.

Силікатна цегла за розмірами повинна відповідати вимогам ДСТУ 379-53.

«Для додання необхідної міцності силікатній цеглі її обробляють насиченою парою. При цьому температурний вплив поєднується з обов'язковою наявністю в цеглі-сирці водного середовища, що сприяє протіканню реакції утворення цементуючих речовин з максимальною

інтенсивністю. Насичена пара використовується температурою 175 ˚С при тиску 8 атм.

Автоклав являє собою трубу довжиною 19 м та діаметром 2 м, місткістю 12 вагонеток.

Режим роботи автоклава наступний:

1,5 години – подача пари,

5-6 годин – витримка,

1-1,5 години – випуск пари.

В процесі обробки в автоклаві (тобто пропарювання цегли-сирцю) розрізняють три стадії.

Перша стадія починається з моменту подачі пари в автоклав і закінчується при настанні рівності температур теплоносія (пари) та цегли-сирцю.

Друга стадія характеризується сталістю температури і тиску в автоклаві. У цей час в цеглі-сирцю проходять усі фізико-хімічні процеси, що сприяють утворенню гідросилікату кальцію, тобто її твердінню.

Третя стадія починається з моменту припинення подачі пари в автоклав протягом часу остигання цегли в автоклаві до моменту її вивантаження.

Таким чином, повний технологічний цикл пропарювання цегли в автоклаві складається з операцій очищення і завантаження автоклава, закривання і закріплення кришок, подачі гострої пари, витримки під заданим тиском, другого перепуску, випуску пари в атмосферу, відкривання кришок і вивантаження готових виробів. Сукупність усіх перерахованих операцій складає цикл роботи автоклава, що становить 10-13 годин» [1].

Параметри технологічного процесу виробництва силікатної цегли приведені в таблиці 1.

Постановка завдання. На основі проведеного аналізу технологічного процесу виробництва силікатної цегли можна зробити наступні висновки.

Існуюча на сьогоднішній день система керування технологічним процесом виробництва силікатної цегли здійснюється морально застарілими технічними засобами автоматизації та не дозволяє забезпечити необхідну точність підтримання технологічних параметрів, має значну інертність, тому не може забезпечити необхідну якість готової продукції.

Таблиця 1.1 – Параметри технологічного процесу виробництва силікатної цегли

№ з/п	Назва параметра	Одиниці вимірювання	Допустимі межі	Відхилення
1.	Вміст вапна в суміші	%	6-8	±1
2.	Активність вапна	%	70-80	±5
3.	Кількість води в суміші	%	11-13	±1
4.	Температура в автоклаві	^{0}С	170-200	± 15
5.	Тиск в автоклаві	атм.	7-8	±0,1
6.	Час сушіння цегли	Год.	7,5-9	±0,5

Для забезпечення якісного високоефективного функціонування технологічного процесу виробництва силікатної цегли потрібно:

1. провести аналіз технологічного процесу, як об’єкта керування;
2. розробити функціональну схему автоматизації;
3. провести вибір датчиків, виконавчих механізмів та промислового контролера;
4. розробити принципову електричну схему підключення датчиків та виконавчих механізмів до промислового контролера;
5. розробити програмне забезпечення для промислового контролера та програмне забезпечення вищого рівня для керування технологічним процесом з робочого місця оператора;
6. провести розрахунки економічної ефективності доцільності впровадження розробленої автоматизованої системи керування.

Виклад основного матеріалу. Проведений аналіз технологічного процесу виробництва силікатної цегли, як об’єкта керування, показав, що основним технологічним параметром, що суттєво впливає на якість цегли є кількість вапна і води в суміші, а також тиск та температура в автоклаві.

Функціональна схема автоматизації наведена на рисунку 1.

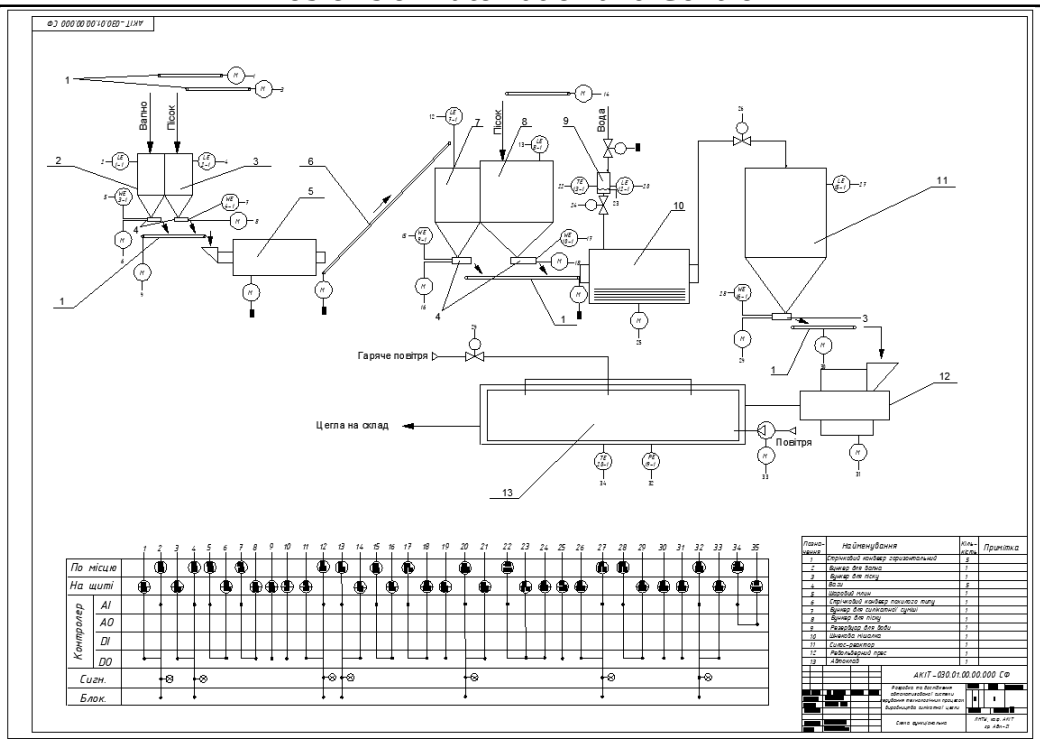


Рисунок 1 – Функціональна схема автоматизації

Вапно і пісок конвеєрами 1 транспортуються в бункери 2 та 3 відповідно. Їх привід здійснюється від електродвигунів, живлення на які подається пускачами LE 1-3 та LE 2-3 відповідно.

Рівень вапна та піску в бункерах 2 і 3 регулюються відповідними контурами. Сигнали про рівень компонента в бункері формуються датчиками LE 1-1 та LE 2-1, і передаються на контролер, який в залежності від величини рівня керує подачею сигналу на пускачі NS 1-3 і ND 2-3.

Компоненти суміші надходять на ваги 4, звідки потрапляють на конвеєр 1. Маса компонентів керується відповідними контурами. При досягнені заданого значення датчики маси WE 3-1 та WE 4-1 подають сигнал на контролер, що керує подачею сигналів на пускачі NS 3-3 і NS 4-3, що подають живлення на електроприводи відповідних заслінок.

Конвеєр 1 приводиться в дію за допомогою електродвигуна, що вмикається пускачем NS 5-1. По конвеєру 1 вапно та пісок надходять в шаровий млин 5, який приводиться в рух від електродвигуна, живлення на який подається пускачем NS 6-1.

Перемелена сировина по конвеєру 6, який приводиться в рух від електродвигуна 11, що вмикається пускачем NS 7-3, та надходить в проміжний бункер 7. При досягнені заданого значення рівня датчик рівня LE 7-1 подає сигнал на контролер, що припиняє подачу сигналу на пускач NS 6-1, який подає живлення на електродвигун конвеєра.

Пісок-наповнювач по конвеєру 1, що приводиться в дію за допомогою електродвигуна, живлення на який подається пускачем NS 8-3, поступає в бункер 8. При досягненні заданого рівня в бункері датчик рівня LE 8-1 подає сигнал на контролер, що припиняє подачу сигналу на пускач NS 8-3, який подає живлення на електродвигун конвеєра.

Перемелена сировина та пісок-наповнювач по конвеєру 1 через ваги 4 надходить в шнекову мішалку 10. Значення маси кожного з компонентів на вагах вимірюються відповідно датчиками WE 9-1 та WE 10-1, сигнали з яких передаються на контролер. При досягнені заданого значення маси датчики WE 9-1 і WE 10-1 подають сигнал на контролер, що припиняє подачу сигналів на пускачі NS 9-3 та NS 10-3, що керуються приводами відповідних дозаторів ваг. Конвеєр 1 приводиться в дію за допомогою електродвигуна, живлення на який подається пускачем NS 11-1.

Мішалка 10 приводиться в дію за допомогою електродвигуна, живлення на який подається пускачем NS 14-1.

Разом із сировиною в мішалку 10 з резервуара 9 надходить вода підігріта до температури 40 °С. При досягнені заданого значення рівня датчик LE 12-1 подає сигнал на контролер, який припиняє подачу сигналу на пускач 12-3, що керує подачею живлення на електроклапан подачі води. Величина температури вимірюється датчиком TE 13-1, сигнал з якого поступає на контролер.

Коли її значення досягне заданого, контролер припиняє подачу сигналу на пускач NS 13-3, який керує подачею живлення на тен, він вимикається, та подає сигнал на пускач NS 13-4, відривається електроклапан і вода поступає в мішалку 10.

При досягнені заданого значення рівня датчик рівня LE 15-1 подає сигнал на контролер, що подає сигнал на пускач 15-3, відкривається електроклапан і суміш з мішалки 10 по трубопроводу завантажується в силос-реактор 11.

З силос-реактора суміш через ваги 4 поступає на конвеєр 1. Конвеєр 1 приводиться в дію за допомогою електродвигуна, що вмикається пускачем NS 17-1. При досягнені заданого значення маси датчик WE 16-1 подає сигнал на контролер, припиняє подачу сигналу на пускач NS 16-3, що подає живлення на дозатор ваг 4.

Сировина по конвеєру надходить на револьверний прес 12, що приводиться в дію за допомогою електродвигуна, живлення на який подається пускачем NS 18-1.

Після пресування готова цегла-сирець надходить до автоклава 13. В ньому відбувається термічна обробка цегли-сирцю при заданих значеннях температури та тиску.

Температура в автоклаві 13 вимірюється датчиком TE 20-1, сигнал з якого поступає на контролер. Коли її значення досягає заданого, контролер припиняє подачу сигналу на пускач NS 16-3, електроклапан закривається та припиняється подача гарячого повітря в автоклав. Якщо ж значення температури в автоклаві опуститься до мінімально заданого, то контролер подає сигнал на пускач NS 16-3 і електроклапан відкривається та подається гаряче повітря.

Забезпечення заданої величини тиску в автоклаві 13 забезпечується шляхом нагнітання повітря насосом, що приводиться в рух від електродвигуна, живлення на який подається пускачем NS 19-3. Величина тиску в автоклаві 13 вимірюється датчиком PE 19-1, сигнал з якого поступає на контролер. При досягненні заданого значення контролер припиняє подачу сигналу на пускач NS 19-3.

Після термічної обробки цегла надходить на склад на зберігання.

В розробленій автоматизованій системі керування:

- для вимірювання температури на різних етапах технологічного процесу використовують термометри опору Метран-2700;
- для вимірювання рівня компонентів та суміші в ємкостях технологічного процесу використовуються ультразвукові рівнеміри LUC-2;
- для вимірювання тиску в автоклаві використовується інтелектуальний датчик тиску серії Метран-100ДИ моделі 1170;
- для вимірювання маси компонентів та суміші на різних етапах технологічного процесу використовуються датчики маси моделі ПМП-1;
- для подачі води в шнекову мішалку та суміші в силос-реактор використовуються електроклапани DANFOSS моделі EV220B;
- для подачі гарячого повітря в автоклав використовується заслінка DANFOSS моделі VFY-WA;
- для керування електродвигунами приводів обладнання та подачі живлення на виконавчі механізми використовуються магнітні пускачі моделі CJX2 1210;
- в якості контролера для автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва силікатної цегли було обрано ADAM серії 5000;
- для підключення датчиків рівня, тиску та температури використовуються два 8-ми канальних модулі аналогового вводу ADAM-5017;
- для підключення виконавчого пристрою заслінки подачі пари в автоклав з регулюванням кута повороту використовується модуль аналогового виводу ADAM-5024;
- для підключення пускачів в даній системі використовуються два 16-ти канальні модулі дискретного виводу ADAM-5056;
- для живлення розробленої автоматизованої системи керування використовується блок живлення Mean Well MDR-20-5 потужністю 15 Вт (з вихідною напругою 24 В та силою струму 3А).

На рисунку 2 приведена принципову електричну схему під’єднання датчиків та виконавчих механізмів з модулями контролера.

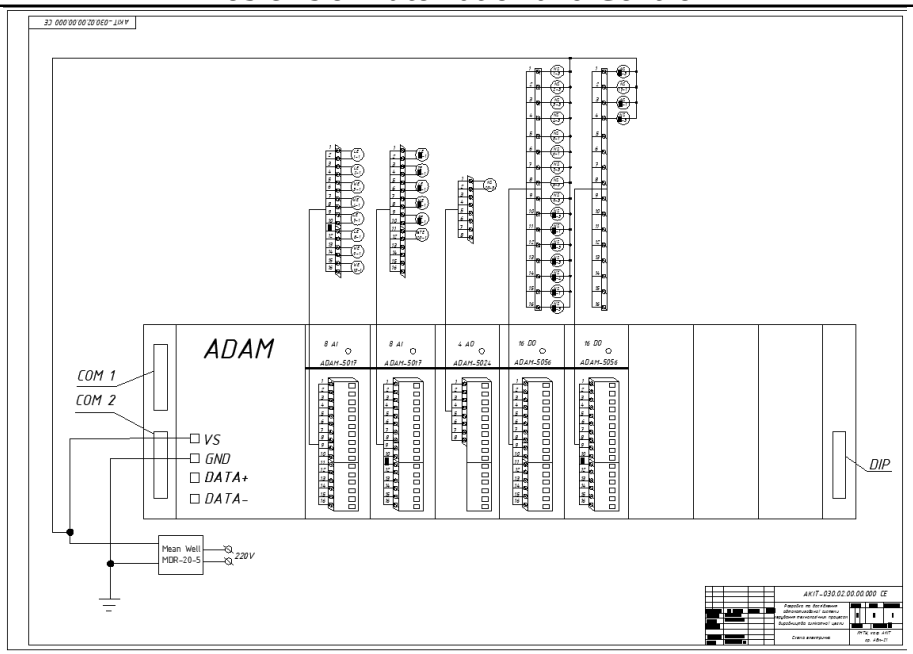


Рисунок 2 – Принципова електрична схема

Усі модулі вводу/виводу контролера розміщені в слотах корзини ADAM-5510E, яка під'єднана за двопровідниковою схемою до блоку живлення Mean Well MDR-20-5 з вихідною напругою 24 В постійного струму, який в свою чергу живиться від загальної мережі 220 В змінного струму.

Аналогові датчики тиску, рівня, маси і температури підключено також за двохпровідною схемою на входи двох модулів ADAM-5017.

Датчики рівня LE-1a, LE-2a, LE 7-1, LE 8-1, підключено відповідно на входи V0, V1, V4, V5, першого модуля ADAM-5017. LE 12-2, LE 15-2 підключаються на входи V0, V2 другого модуля ADAM-5017.

Датчики маси WE 3-1, WE 4-1, WE 9-1, WE 10-1, підключено відповідно на входи V2, V3, V6, V7 першого модулів ADAM-5017, а WE 16-1 підключено на вхід V3 другого модуля ADAM-5017. Д

Датчик тиску PE 19-1 підключено на вхід V4 другого модуля ADAM-5017, датчики температури TE 13-1, TE 20-1 – на входи V1, V5 другого модуля ADAM-5017.

Виконавчий механізм електровентиля NS 20-3 підклено до виходу модуля аналогового виводу ADAM-5024.

Усі магнітні пускачі (NS 1-3, NS 2-3, NS 3-3, NS 4-3, NS 5-1, NS 6-1, NS 7-3, NS 8-3, NS 9-3, NS 10-3, NS 11-3, NS 13-3, NS 14-1, NS 16-3, NS 17-1, NS 18-1, NS 19-3) підключаються відповідно до виходів модулів дискретного виходу ADAM-5056.

Програмування контролера здійснюється за допомогою інтерфейсу RS-232, тобто COM порту, що розміщений на корпусі корзини ADAM-5510E. Обмін даними між модулями вводу/виводу контролера здійснюється з використанням протоколу RS-485.

Для керування технологічним процесом виробництва силікатної цегли з робочого місця оператора ЕОМ, як в автоматичному, так і в ручному режимах в додатку «Genesis 32» розроблено проект, що являє собою одну панель керування оператора.

Загальний вигляд програмного забезпечення вищого рівня приведений на рисунку 3.

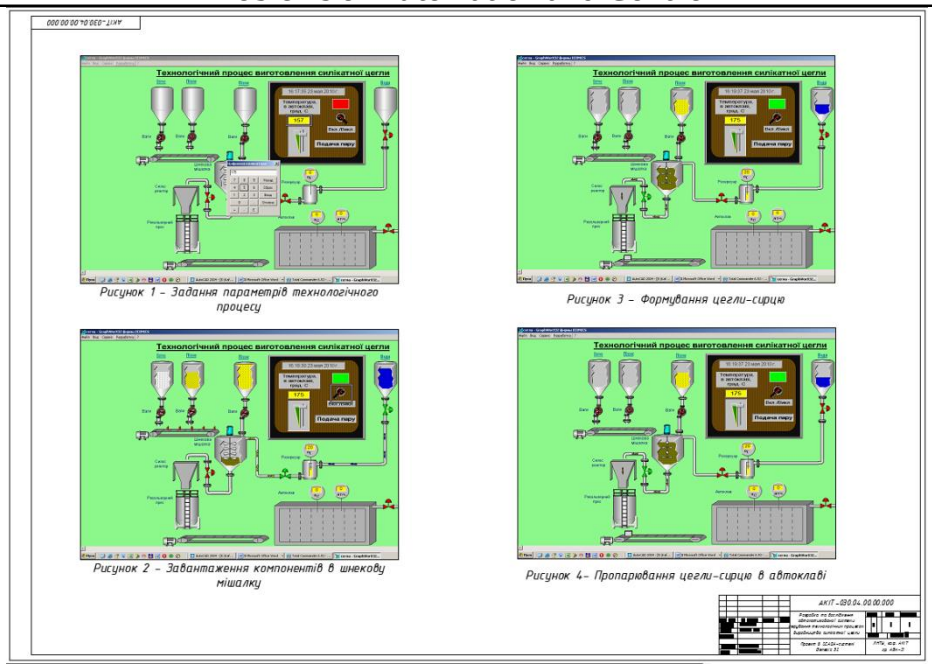


Рисунок 3 – Загальний вигляд програмного забезпечення вищого рівня

Проведений розрахунок економічної ефективності доцільності впровадження розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва силікатної цегли показав, що для цього потрібно придбати контрольно-вимірювальні прилади та засобів автоматизації на суму 36695 грн., загальні капітальні витрати становлять 62381,50 грн.

Висновки: Реалізація розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва силікатної цегли, дозволить не тільки підвищить якість готової продукції, але і зменшити споживання електроенергії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Технологія виробництва силікатної цегли URL: https://kbm.ua/information-ua/tpost/gx20g1rdi1-tehnologya-virobnitstva-silkatno-tsegli?srsltid=AfmBOorDVY7pC6A6ZKKlHp9l2WUXZ75QfqV4MMtVuxRE-cOjDw77cCLW (дата звернення 18.10.2024).

УДК 519.6
О. М. Решетило, В. О. Сацик, О. І. Самелюк
Луцький національний технічний університет

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРИТОЧНО-ВИТЯЖНОЮ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ЛІКАРНІ

Робота присвячена проектуванню автоматизованої системи керування приточно-витяжною вентиляцією лікарні. Проведено аналіз технологічного процесу, як об’єкта керування, та визначено задачі досліджень. Розроблено функціональну схему автоматизації, вибрано технічні засоби автоматизації та контролер. Розроблено принципову електрична схему підключення датчиків та виконавчих механізмів до модулів контролера, структурну схему програми роботи контролера і щит керування. роведено розрахунок економічної ефективності системи автоматизації.

Ключові слова: автоматизована система, керування, приточно-витяжна, система, контролер, програма.

O. Reshetylo, V. Sacyk, O. Sameljuk. Automated system for hospital supply and exhaust ventilation. The work is devoted to the design of an automated control system for supply and exhaust ventilation of a hospital. The technological process as a control object was analyzed, and research tasks

were defined. A functional automation scheme was developed, technical means of automation and a controller were selected. A schematic electrical diagram of connecting sensors and actuators to controller modules, a structural diagram of the controller operation program and a control panel were developed. The economic efficiency of the automation system was calculated.

Key words: automated system, control, supply and exhaust, system, controller, program.

Постановка проблеми. Розробка автоматизованої системи керування приточно-витяжною вентиляцією лікарні є надзвичайно важливою з кількох причин:

1. Забезпечення якості повітря: у лікарнях особливо важливо підтримувати високий рівень якості повітря, оскільки повітряні шляхи є одним з основних шляхів поширення інфекцій, приточно-витяжні системи вентиляції дозволяють забезпечити подачу свіжого повітря та видалення забрудненого, запобігаючи накопиченню патогенних мікроорганізмів і токсичних речовин.

2. Енергоефективність: автоматизована система дозволяє оптимізувати витрати енергії, забезпечуючи вентиляцію лише тоді, коли це необхідно, і на відповідному рівні інтенсивності, це знижує витрати лікарні на електроенергію та підтримку систем вентиляції.

3. Контроль за температурою та вологістю: у лікарняних приміщеннях важливо підтримувати стабільну температуру та вологість для комфорту пацієнтів і медичного персоналу, а також для правильного функціонування медичного обладнання, автоматизовані системи здатні контролювати ці параметри в реальному часі, забезпечуючи оптимальні умови.

4. Інтеграція з системами моніторингу здоров'я: сучасні системи вентиляції можуть бути інтегровані з медичними системами моніторингу здоров'я, щоб адаптувати умови приміщення до потреб пацієнтів, наприклад, для підвищення комфорту пацієнтів з респіраторними захворюваннями.

5. Зменшення людського фактору: автоматизація дозволяє мінімізувати ризики помилок, які можуть виникати при ручному управлінні вентиляційними системами, система здатна працювати автономно, реагуючи на зміну умов у приміщенні, що знижує навантаження на персонал.

6. Відповідність нормам та стандартам: медичні заклади повинні дотримуватись суворих норм стосовно мікроклімату і чистоти повітря, автоматизована система вентиляції допомагає забезпечити дотримання цих норм постійно, що особливо важливо для критичних зон, таких як операційні, реанімаційні відділення та інфекційні палати.

Проведений аналіз технологічного процесу роботи приточно-витяжної вентиляції лікарні, що керування технологічним процесом здійснюється застарілими технічними засобами автоматизації та частково в ручному режимі, таким чином це не дозволяють забезпечити необхідну точність підтримання температурних режимів, має значну інертність, тому не може забезпечити оптимальні кліматичні умови.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Склад системи вентиляції залежить від її типу. Найбільш складними і часто використовуваними є приточні штучні (механічні) системи вентиляції. Типова приточна механічна вентиляційна система складається з наступних компонентів (що розташовані по напряму руху повітря, від входу до виходу).

Повітрозабірні грати – через них в систему поступає зовнішнє повітря. Вентиляційні грати, як і всі інші елементи вентиляційної системи, бувають круглої або прямокутної форми. Ці грати не тільки виконують декоративні функції, але і захищають систему вентиляції від попадання всередину крапель дощу і сторонніх предметів.

Повітряний клапан запобігає попадання в приміщення зовнішнього повітря при вимкненій системі вентиляції. Повітряний клапан особливо необхідний взимку, оскільки без нього в приміщення потраплятиме холодне повітря і сніг. Як правило, в приточних системах вентиляція встановлюється клапан з електроприводом, що дозволяє повністю автоматизувати управління системою – при включенні вентилятора (і калорифера) клапан відкривається, при вимкненні – закривається.

Фільтр – необхідний для захисту, як самої системи вентиляції, так і вентильованих приміщень від пилу, пуху, комах. Зазвичай встановлюється один фільтр грубого очищення, який затримує частинки величиною більше 10 мкм. Якщо до чистоти повітря пред'являються підвищені вимоги, то додатково можуть бути встановлені фільтри тонкого очищення (затримують частинки до 1 мкм) і особливо тонкого очищення (затримують частинки до 0,1 мкм). Фільтруючим матеріалом у фільтрі грубого очищення служить тканина з синтетичних волокон, наприклад, акрилу. Фільтр необхідно періодично очищати від грязі та пилу, зазвичай не рідше за один раз на місяць. Для контролю

забруднення фільтра можна встановити диференціальний датчик тиску, який контролює різницю тиску повітря на вході та виході фільтру, – при забрудненні різниця тиску збільшується.

Калорифер або повітронагрівач призначений для підігріву повітря, що подається з вулиці, в зимовий період. Калорифер може бути водяним або електричним. Для невеликих припливних установок вигідно використовувати електричні калорифери, оскільки установка такої системи вимагає менших витрат. Для великої кількості приміщень бажано використовувати водяні нагрівачі, інакше витрати на електроенергію виявляться дуже великими. Існує спосіб у декілька разів знизити витрати на підігрів повітря, що поступає. Для цього використовується рекуператор – пристрій, в якому холодне припливне повітря нагрівається за рахунок теплообміну з теплим повітрям, що видаляється. Зрозуміло, повітряні потоки при цьому не змішуються.

Вентилятор – основа будь-якої системи штучної вентиляції. Він підбирається з урахуванням двох основних параметрів: продуктивності, тобто кількості повітря, що прокачується, і повному тиску. За конструктивним виконанням вентилятори розділяються на осьові (приклад – побутові вентилятори) і радіальні або відцентрові.

Осьові вентилятори забезпечують хорошу продуктивність, проте характеризуються низьким повним тиском, тобто, якщо на шляху повітряного потоку зустрічається перешкода (довгий повітрепровід з поворотами, грати і тому подібне), то швидкість потоку істотно зменшується. Тому в системах вентиляції з розгалуженою мережею повітрепроводів застосовують радіальні вентилятори, що відрізняються високим тиском створеного повітряного потоку. Іншими важливими характеристиками вентиляторів є рівень шуму і габарити. Ці параметри у значній мірі залежать від марки устаткування.

Шумоглушник – оскільки вентилятор є джерелом шуму, після нього обов’язково встановлюють шумоглушник, щоб запобігти розповсюдженню шуму по повітрепроводам. Основним джерелом шуму при роботі вентилятора є турбулентні завихрення повітря на його лопатях, тобто аеродинамічні шуми. Для зниження цих шумів використовується звукопоглинальний матеріал певної товщини, яким облицьовуються одна або декілька стінок шумоглушника. В якості звукопоглинального матеріалу зазвичай використовують мінеральну вату, скловолокно і тому подібне.

Повітрепроводи – після виходу з шумоглушника оброблений повітряний потік готовий до розподілу по приміщеннях. Для цих цілей використовуються повітропровідна мережа, що складається з повітрепроводів і фасонних виробів (трійників, поворотів, перехідників). Основними характеристиками повітрепроводів є площа перетину, форма (кругла або прямокутна) і жорсткість (бувають жорсткі, напівгнучкі і гнучкі повітрепроводи).

Швидкість потоку у повітрепроводі не повинна перевищувати певного значення, інакше повітрепровід стане джерелом шуму. Тому площею перетину повітрепровіда визначається об’єм повітря, що прокачується, тобто розмір повітрепроводів підбирається виходячи з розрахункового значення повітрообміну і максимально допустимої швидкості повітря.

Жорсткі повітрепроводи виготовляються з оцинкованої жесті і можуть мати круглу або прямокутну форму. Напівгнучкі і гнучкі повітрепроводи мають круглу форму і виготовляються з багатошарової алюмінієвої фольги. Круглу форму таким повітрепроводам надає каркас зі звитого в спіраль сталевого дроту. Така конструкція зручна тим, що повітрепроводи при транспортуванні та монтажі можна складати «гармошкою». Недоліком гнучких повітрепроводів є високий аеродинамічний опір, що викликаний нерівною внутрішньою поверхнею, тому їх використовують лише на ділянках невеликої протяжності.

Розподільники повітря – через них повітря з повітрепровода потрапляє в приміщення. Як правило, в якості розподільника повітря використовують грати (круглі або прямокутні, настінні або стельові) або дифузори (плафони). Крім декоративних функцій, розподільники повітря служать для рівномірного розсіювання повітряного потоку по приміщенню, а також для індивідуального регулювання повітряного потоку, що направляється з повітророзподільної мережі в кожне приміщення.

Системи регулювання і автоматики – останнім елементом вентиляційної системи є електричний щит, в якому зазвичай вмонтовують систему управління вентиляцією. У простому випадку система управління складається лише з вимикача з індикатором, що дозволяє вмикати і вимикати вентилятор. Проте найчастіше використовують систему управління з елементами автоматики, яка включає калорифер при зниженні температури приточного повітря, стежить за чистотою фільтру, управляє повітряним клапаном і так далі. В якості датчиків для системи управління використовують термостати, гігростати, датчики тиску і тому подібне.

Послідовність пуску.

Для забезпечення нормального пуску системи кондиціонування або вентиляції слід враховувати:

а) Попереднє відкриття повітряних заслінок до пуску вентиляторів. Це виконується у зв'язку з тим, що не всі заслінки в закритому стані можуть витримати перепад тиску, що створюється вентилятором, а час повного відкриття заслінки електроприводом доходить до двох хвилин.

б) Рознесення моментів запуску електродвигунів. Асинхронні електродвигуни мають великі пускові струми. Так, компресори холодильних машин мають пускові струми, що в 5-7 разів перевищують робочі (до 100 А і більше). Якщо одночасно запустити вентилятори, холодильні машини та інші приводи, то через велике навантаження на електричну мережу будівлі сильно впаде напруга, і електродвигуни можуть не запуститися. Тому запуск електродвигунів, особливо великої потужності, необхідно розносити за часом.

в) Попереднє прогрівання калорифера. Якщо ввімкнути кондиціонер, не прогрівши водяний калорифер, то при низькій температурі зовнішнього повітря може спрацювати захист від заморожування. Тому при ввімкненні кондиціонера необхідно відкрити заслінки приточного повітря, відкрити триходовий клапан водяного калорифера і прогріти калорифер. Як правило, ця функція включається при температурі зовнішнього повітря нижче 12 °С.

Послідовність зупинки.

При відключенні системи слід враховувати:

а) Затримку зупинки вентилятора приточного повітря в установках з електрокалорифером. Після зняття напруги з електрокалорифера слід охолоджувати його певний час, не вимикаючи вентилятор приточного повітря. Інакше нагрівальний елемент калорифера (тепловий електричний нагрівач – ТЕН) може вийти з ладу.

Б) Затримку виключення холодильної машини. При виключенні холодильної машини холодоагент зосередиться в найхолоднішому місці холодильного контуру, тобто у випарнику. При подальшому пуску можливий гідроудар. Тому перед виключенням компресора, спочатку закривається клапан, що встановлюється перед випарником, а потім досягши тиску всмоктування 2,0-2,5 бар, компресор вимикається. Разом із затримкою виключення компресора проводиться затримка виключення приточного вентилятора.

Резервуючі і доповнюючі функції закладаються при роботі в схемі декількох однакових функціональних модулів (електрокалориферів, випарників, холодильних машин), коли залежно від продуктивності, що передбачається, включаються один або декілька елементів. Для підвищення надійності встановлюються резервні вентилятори, електронагрівачі, холодильні машини. При цьому періодично (наприклад, через 100 год.) основний і резервний елементи міняються функціями, вирівнюючи, таким чином, їх час напрацювання. На рисунку 1 наведений типовий графік роботи приточно-витяжної вентиляції. Увесь цикл система повинна працювати автоматично і повинен бути передбачений індивідуальний пуск обладнання, який необхідний при наладці та профілактичних роботах.

Важливе значення мають функції програмного управління, такі як зміна режимів «зима-літо» і «день-ніч». Особливо актуальна реалізація цих функцій в сучасних умовах дефіциту енергетичних ресурсів. У простому випадку ці функції передбачають або взагалі відключення ВКВ в певний момент часу, або зниження (підвищення) заданого значення регульованого параметра (наприклад, температури) залежно від періоду доби («день-ніч») або зміни теплових навантажень в обслуговуваному приміщенні. Ефективнішим, але і складнішим в реалізації, є програмне управління, що передбачає автоматичну зміну структури ВКВ і алгоритму її функціонування не тільки в традиційному режимі «зима-літо», але і в перехідних режимах [4].

При цьому основною мотивацією і критерієм оптимізації, як правило, є прагнення забезпечити, можливо, мінімальне споживання енергії при обмеженнях на капітальні витрати, габарити і так далі.

Функція автоматичного захисту від замерзання повинна бути передбачена в районах з розрахунковою температурою зовнішнього повітря для холодного періоду мінус 5 °С і нижче [3]. Захисту підлягають теплообмінники першого підігріву і рекуператори.

Виділяють три основні чинники, що сприяють замерзанню води:

– помилки, допущені при проектуванні і пов'язані із завищеною поверхнею нагріву, обв'язуванням за теплоносієм і способом управління;

– перевищення температури гарячої води, і як наслідок різке зниження швидкості руху води, через що створюється небезпека замерзання води в теплообміннику;

– небезпека замерзання в неробочий час при перетіканні холодного повітря через негерметичність клапана зовнішнього повітря і при повному закритті плунжера водяного клапана.

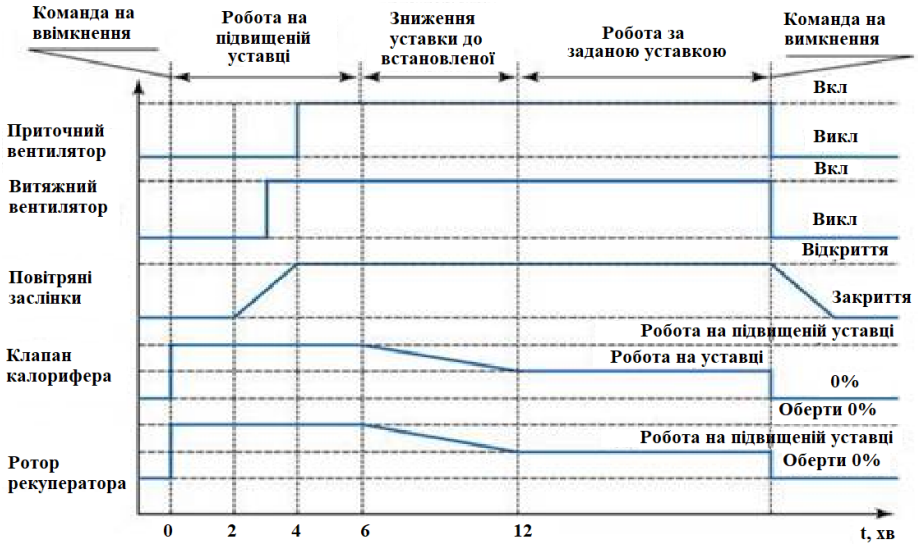


Рисунок 1 – Графік роботи приточно-витяжної вентиляції

Зазвичай захист від замерзання теплообмінників виконується на базі датчиків або датчиків-реле температури повітря за апаратом і температури теплоносія в зворотному трубопроводі.

Контроль забрудненості фільтру оцінюється падінням тиску на ньому, яке вимірюється диференціальним датчиком тиску. Датчик вимірює різниця тиску повітря до і після фільтру. Допустиме падіння тиску на фільтрі вказується в його паспорті (150-300 Па). Ця різниця встановлюється при наладці системи на диференціальному датчику (уставка датчика). Досягши уставки від датчика поступає сигнал про граничну запиленість фільтру і необхідність його обслуговування або заміни. Якщо протягом певного часу (зазвичай 24 години) після видачі сигналу граничної запиленості фільтр не буде очищений або замінений, то необхідно передбачити аварійну зупинку системи.

Аналогічні датчики встановлюються на вентиляторах. Якщо вийде з ладу вентилятор або ремінь приводу вентилятора, то система повинна бути зупинена в аварійному режимі.

Захисту і блокування електричного калорифера.

Особливі заходи захисту і блокувань необхідні при використанні в системах вентиляції і кондиціонування електричного калорифера.

Якщо при низькій температурі зовнішнього повітря повної потужності електричного калорифера для підтримки заданої температури недостатньо, то знижується продуктивність (швидкість обертання) вентиляторів. Слід пам’ятати, що при зниженні швидкості обертання вентиляторів кількість повітря, що поступило в приміщення, може не відповідати вимогам санітарних норм. Проте це дозволяє забезпечити працю центрального кондиціонера до температури зовнішнього повітря мінус 20-25 °С.

Крім того, за відсутності потоку повітря електрокалорифер вийде з ладу через 10-15 секунд, що неприпустимо. Тому для захисту електрокалорифера за відсутності потоку повітря необхідне його відключення по команді датчика потоку або блокування його роботи при непрацюючому вентиляторі.

У калориферах, як правило, встановлюють ще дві ступені захисту:

перша ступінь – захист від перегріву з самоповерненням (температура спрацьовування 50 °С);

друга ступінь – захист від спалаху з ручним поверненням (температура спрацьовування 150 °С).

Перший ступінь спрацьовує зворотно, тобто після того, як температура повітря за електрокалорифером знизиться до 40 °С, калорифер включається знову. Проте якщо таке виключення трапиться кілька разів протягом певного часу (наприклад, однієї години), то необхідне аварійне відключення системи. При спрацьовуванні другого ступеня система повинна відключитися, включити її повторно можна лише вручну після усунення несправності.

Крім того, автоматичні блокування регламентовані для:

– відкриття і закривання клапанів зовнішнього повітря при включенні і відключенні вентиляторів [3];

– відкриття і закривання клапанів систем вентиляції, з'єднаних повітропроводами для повної або часткової взаємозамінюваності при виході з ладу однієї з систем [3];

– закривання клапанів систем вентиляції для приміщень, що захищаються установками газового пожежегасіння при відключенні вентиляторів систем вентиляції цих приміщень [3];

– забезпечення мінімальної витрати зовнішнього повітря в системах із змінною витратою [3] та ін.

У системі є один контур регулювання і контролюється два параметри: різниця тиску у повітрепроводі на вході і виході з фільтру, а також температура зовнішнього повітря навколо водяного калорифера.

Для досягнення найкращої якості роботи приточно-витяжної вентиляції необхідно дотримуватись параметрів технологічного процесу, які наведенні в таблиці 1.

Таблиця 1.1 – Параметри технологічного процесу роботи приточно-витяжної вентиляції

Найменування технологічного агрегату	Призначення	Найменування параметрів	Величина параметрів	Точність
Повітрепровід	Транспортування повітря через фільтр	Тиск	150-300 Па	±5 Па
	Транспортування повітря через водяний калорифер	Температура	5 °С	0 ° С
	Транспортування повітря в ОП	Температура	8-48 °С	±1 °С

Обов'язковими параметрами для контролю приточно-витяжної системи лікарні є:

– температура і тиск в загальних подаючому та зворотному трубопроводах, і також на виході кожного теплообмінника;

– температура зовнішнього, рециркуляційного і приточного повітря після теплообмінника, а також температура та відносна вологість в приміщенні в системах кондиціонування.

Інші параметри в системах вентиляції і кондиціонування контролюються на вимогу технічних умов на устаткування або за умовами експлуатації.

Дистанційний контроль передбачають для вимірювання основних параметрів технологічного процесу або параметрів, задіяних в реалізації інших функцій управління. Такий контроль здійснюється за допомогою датчиків і вимірювальних перетворювачів з виведенням (при необхідності) виміряних параметрів на індикатор або екран управляючого приладу.

Для вимірювання інших параметрів зазвичай використовують місцеві (переносні або стаціонарні) прилади – показуючі термометри, манометри або термоманометри.

Застосування місцевих контролюючих приладів не порушує основний принцип систем управління – принцип зворотного зв'язку. В цьому випадку він реалізується за допомогою людини (оператора або обслуговуючого персоналу).

Реєстрацію основних параметрів слід передбачати лише за технологічними вимогами.

Вимоги до автоматизованої системи керування:

1) контроль та підтримання параметрів технологічного процесу;
2) захист від аварійних режимів, автодіагностика і тестування;
3) можливість переведення системи на ручне керування;
4) автоматичну зупинку технологічного процесу в разі виникнення небезпечних та аварійних ситуацій.

Система керування повинна контролювати стан увімкненого обладнання та сигналізуючи стан функціонування її елементів.

Постановка завдання. На основі проведеного аналізу технологічного процесу роботи приточно-витяжної вентиляції лікарні можна зробити наступні висновки.

Існуюча на сьогоднішній день система керування приточно-витяжною системою лікарні має ряд недоліків, зокрема вона базується на ручному керуванні, регулюванням технологічних параметрів здійснюється зі значними відхиленнями, присутній лише візуальний контролем,

відсутня сигналізація та технологічний захист. Система має значні витрати споживання електроенергії.

Для забезпечення якісного високоефективного функціонування приточно-витяжної системи лікарні необхідно:

7. провести аналіз технологічного процесу як об’єкта керування;
8. розробити функціональну схему автоматизації та описати її;
9. обґрунтувати вибір датчиків, виконавчих механізмів та промислового контролера;
10. розробити принципові електричні схеми підключення датчиків та виконавчих механізмів до промислового контролера;
11. розробити програмне забезпечення для промислового контролера;
12. для автоматизованої системи управління розробити щит керування та схему його живлення;
7. провести розрахунки економічної ефективності впровадження розробленої автоматизованої системи керування приточно-витяжною системою лікарні.

Виклад основного матеріалу. Проведений аналіз технологічного процесу роботи приточно-витяжної системи лікарні, як об’єкта керування, показав, що основним технологічним параметром, що суттєво впливає на якість кліматичних умов в приміщеннях є температура повітря на виході з водяного теплообмінника.

Функціональна схема автоматизації наведена на рисунку 2.

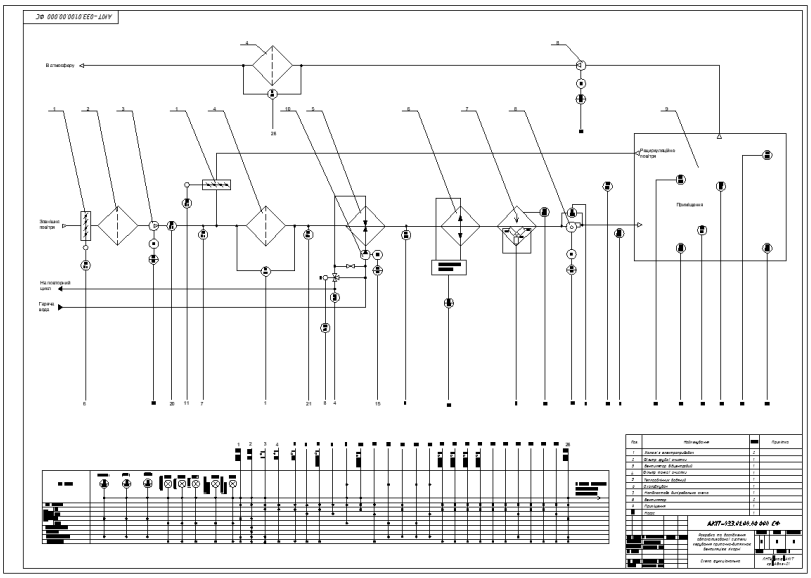


Рисунок 2 – Функціональна схема автоматизації

Автоматизована система керування приточно-витяжною вентиляцією лікарні працює наступним чином.

При відкритті жалюзей 1 за допомогою електроприводу, що керується за допомогою електричного виконавчого елемента NS 1-1, свіже повітря з навколишнього середовища через фільтр грубої очистки 2 всмоктується відцентровим вентилятором 3, електродвигун якого керується за допомогою частотного перетворювача NS 1-2, поступає в повітропровід установки приточно-витяжної вентиляції. Кількість свіжого повітря контролюється за допомогою витратоміра FE 1-3, а його температура вимірюється за допомогою датчика TE 1-4. Одночасно, при відкритті жалюзей 1 за допомогою електроприводу, що керується за допомогою електричного виконавчого елемента NS 1-6, в повітропровід під дією розрідження, що створюється за допомогою вентилятора 8, електродвигун якого керується за допомогою частотного перетворювача NS 3-4, з провітрюваного приміщення поступає циркуляційне повітря. Кількість циркуляційного повітря можна встановити в межах 0-100 % за допомогою зміни пропускної здатності жалюзей. Після цього, якщо вологість повітря підвищена, воно нагрівається у теплообміннику 5, в рубашку якого за допомогою насоса 10, електродвигун якого керується за допомогою частотного перетворювача NS 2-2, подається гаряча вода, яка при відкритті електроклапана NS 2-1 подається на повторний цикл. При цьому повітря фільтрується за допомогою фільтра тонкої очистки 4, ступінь забрудненості якого контролю

шляхом вимірювання різниці тисків повітря до і після фільтра за допомогою диференційного датчика тиску PI 1-7. Двоступінчасте фільтрування забезпечує не тільки захоплення частинок, що розсіяні в повітрі, але також частково вловлює запах. Якість повітря при цьому вимірюється за допомогою датчика QE 1-5. Температура повітря після водяного теплообмінника вимірюється за допомогою датчика TE 2-4. Якщо вона завелика то повітря додатково проходить охолоджувач 6, в рубашку якого подається фреон з холодильної машини, електродвигун приводу якої вмикається за допомогою контактора NS 3-1. Температура повітря після охолоджувача, яке подається в приміщення, вимірюється за допомогою датчика TE 3-2, що під'єднаний до модуля вводу контролера по напівмостовій схемі. Якість роботи вентилятора 8 контролюється шляхом вимірювання різниці тисків повітря до і після нього за допомогою диференційного датчика тиску PI 3-3. Оброблене повітря видувається в приміщення.

Температура повітря навколишнього середовища вимірюється за допомогою датчика TE 5-2, а його вологість – за допомогою витратоміра WE 5-1.

Температура повітря в приміщенні вимірюється в чотирьох зонах за допомогою датчиків TE 4-1, TE 4-2, TE 4-3 та TE 4-4, а його вологість – за допомогою витратоміра WE 4-5.

Якість повітря в приміщенні вимірюється за допомогою датчика QE 4-6. При підвищеному вмісті вуглекислого газу та значному перевищенні температури в приміщенні за допомогою частотного перетворювача NS 6-1 вмикається електродвигун приводу вентилятора 8 і повітря з приміщення через фільтр тонкої очистки 4 викидається в атмосферу навколишнього середовища. Ступінь забрудненості фільтра контролю шляхом вимірювання різниці тисків повітря до і після фільтра за допомогою диференційного датчика тиску PI 6-2.

У задній частині установки знаходиться всмоктуючий патрубок для свіжого повітря, а в нижній – грати для рециркуляційного повітря. Співвідношення перемішування можна регулювати за допомогою електричного клапана змішувача.

На рисунку 3 наведена принципова електрична схема підключення датчиків та ви конавчих механізмів до модулів контролера, а також з'єднання модулів та блоків живлення.

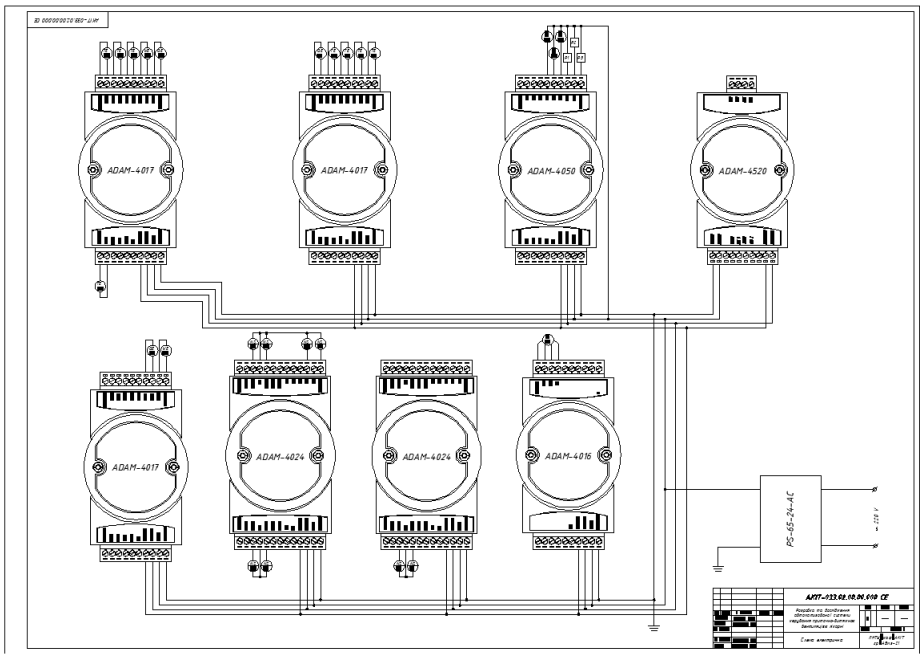


Рисунок 3 – Принципова електрична схема

Для збору інформації з датчиків рівня, температури та тиску, використаємо 8-ми канальний модуль аналогового вводу ADAM-4017. Оскільки ми маємо 14 пристроїв з вихідним аналоговим сигналом у 4-20 мА, то необхідно використати 3 модуля ADAM-4017. Дані датчики підключаються по двохпровідній схемі на входи даних модулів.

Оскільки вимірювальним елементом витратоміра є тензорезистор, то для їх підключення використовуємо 1 модуль підключення тензорезисторів ADAM-4016.

Для підключення датчиків дискретного типу використаємо 1 модуль дискретного вводу/виводу ADAM-4050. Дані датчики підключається по двохпровідній схемі, один контакт на вхід контролера, а інший на живлення.

Модуль перетворення інтерфейсу RS-232 в RS-422/485 ADAM-4520 використовуємо для передачі даних між головним комп'ютером та модулями вводу/виводу. Дані між модулем ADAM-4520 та між іншими модулями передаються по двох лініях DATA+ та DATA-.3

Програму керування технологічним процесом для модулів контролера ADAM 4000 розроблено в середовищі Adam View.

Для зчитування інформації з аналогових датчиків використовуємо блок аналогового вводу AI, а з датчиків з дискретним вихідним сигналом блок DI. Алгоритм дій описуємо в блоці SCR на Basic Script. Виконавчими механізмами і регулюючими органами керуємо з допомогою блоку дискретного виводу DO та блоку аналогового виводу AO.

Розроблена структурна схема програми роботи контролера наведена на рисунку 4.

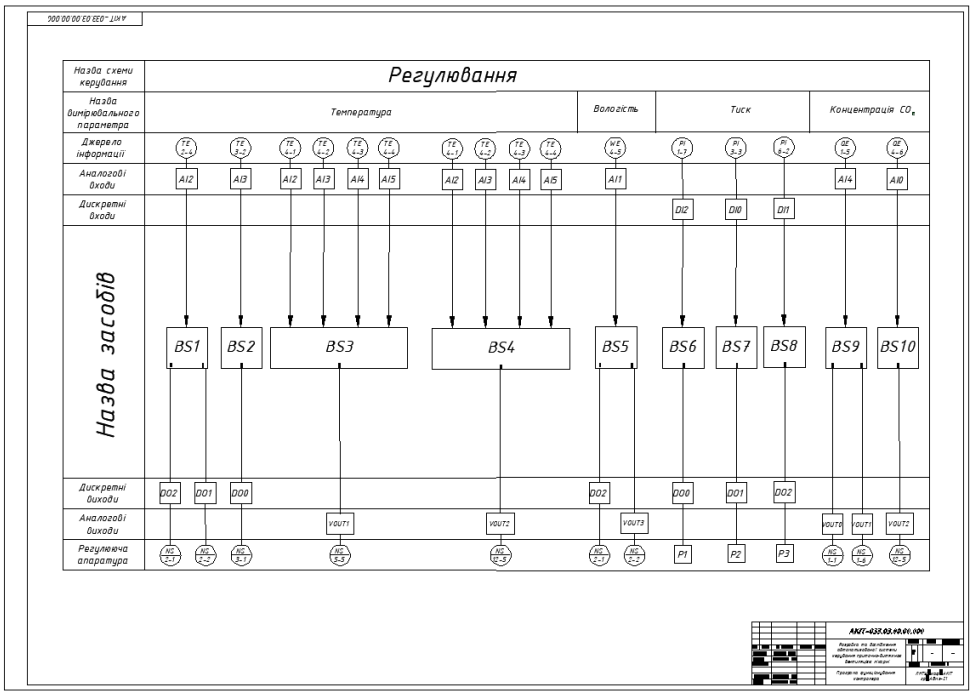


Рисунок 4 – Структурна схема програми роботи контролера

Для розміщення пристроїв автоматики непрямої дії, в окремому приміщенні операторної змонтований розроблений щит керування, загальний вигляд якого наведений на рисунку 5.

На фасадному виді щита керування показано розташування приладів, а саме:

- сигнальні табло з надписами – 1 шт. і сигнальна лампа ввімкнення резервного живлення – 1 шт.;
- головний вимикач – 1 шт.;
- інформаційна табличка – 1 шт.;
- кнопка аварійної зупинки – 1 шт.;
- модулі мікроконтролера ADAM серії 4000:
  - модуль цифрового вводу/виводу ADAM-4050 – 3 шт.,
  - модуль аналогового вводу ADAM-4017 – 3 шт.,
  - модуль підключення тензирезисторів ADAM-4016 – 1 шт.,
  - модуль аналогового виводу ADAM-4024 – 2 шт.,
  - модуль перетворення інтерфейсу ADAM-4520 – 1 шт.;
- реле RG-25 – 9 шт.;
- контактори Lovato BG00 40 – 9 шт.;
- блоки затискачів - 11 шт.;
- блок живлення PS-65-12 - AC 24 B, 6 A – 1 шт.

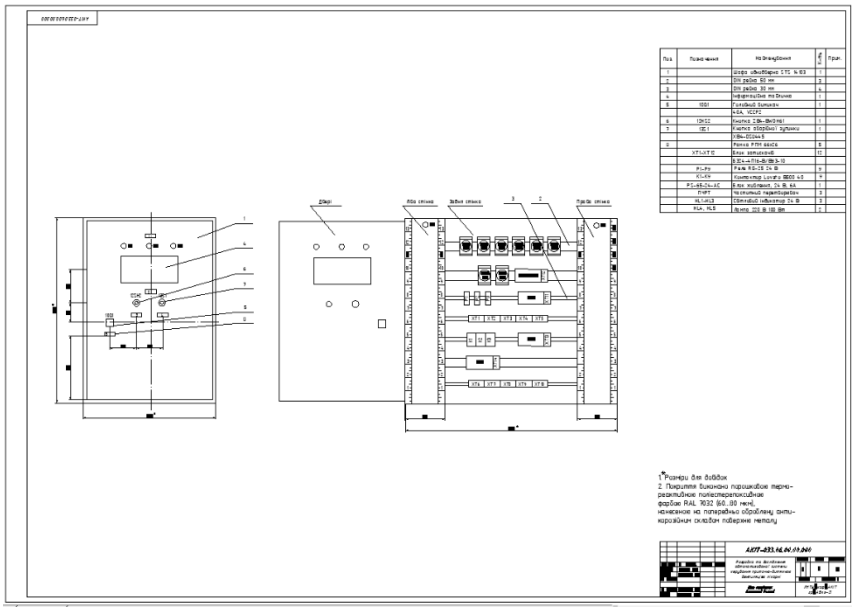


Рисунок 5 – Загальний вигляд щита керування

На внутрішніх панелях щита керування розташовані:

а) схема релейного захисту;

б) джерело живлення (PS-65-12 - AC);

в) автоматичні вимикачі;

г) зборки комутаційних затискачів;

д) запобіжники;

є) схема ввімкнення резервного живлення з сигналізацією;

ж) розетка, 2 лампи внутрішнього освітлення щита.

Проведений розрахунок економічної ефективності доцільності впровадження розробленої автоматизованої системи керування приточно-витяжною вентиляцією лікарні показав, що для цього потрібно придбати контрольно-вимірювальні прилади та засобів автоматизації на суму 34680 грн., загальні капітальні витрати становлять 63204,30 грн.

Висновки. Реалізація розробленої автоматизованої системи керування приточно-витяжною вентиляцією лікарні, дозволить не тільки підвищить якість мікроклімату в приміщеннях лікарні, а й зменшити споживання електроенергії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 2264-93 Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції. Терміни та визначення URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60240 (дата звернення 17.10.2024).

2. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» №ДБН В.2.5-67:2013 URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074971619479783152?doc_type=2 (дата звернення 17.10.2024).

3. СНіП 2.04.05-91. Опалення, вентиляція і кондиціювання (budstandart.com) URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=22092 (дата звернення 17.10.2024).

4. Джедула В.В. Вентиляція та кондиціювання громадських об’єктів : навчальний посібник / Вінниця : ВНТУ, 2021. 71 с.

УДК 004.94: 629.3

М. М. Сауляк, П. О. Гуменюк
Луцький національний технічний університет

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАПНА

Робота присвячена модернізації автоматизованої системи керування технологічним процесом виготовлення вапна. Проаналізовано схему технологічного процесу виробництва вапна. Розроблено функціональну схему керування технологічним процесом виробництва вапна. Підібрано засоби автоматизації, які підтримують стабільний, ефективний і якісний процес виробництва вапна, а також відповідають експлуатаційним вимогам і стандартам безпеки галузі. Виконано моделювання температурних режимів та енергетичної ефективності процесу кальцинації в обертових печах. Запропоновані підходи до процесів моделювання та взаємодії людини і машини вдосконалюють процеси виробництва вапна та пропонують ширше застосування наукових підходів у промисловій автоматизації та оптимізації процесів.

Ключові слова: вапно, сушіння, керування, модель, технологічні параметри, мікроконтролер ADAM-4000.

M. Sulyak, P. Humeniuk. Automated control system for the technological process of lime production. The article is devoted to the modernization of the automated control system for the technological process of lime production. The scheme of the technological process of lime production is analyzed. A functional control scheme for the technological process of lime production has been developed. Automation tools are selected that support a stable, efficient and high-quality lime production process, as well as meet the operational requirements and safety standards of the industry. The modeling of temperature conditions and energy efficiency of the calcination process in rotary kilns was performed. The proposed approaches to modeling processes and human-machine interaction improve lime production processes and offer wider application of scientific approaches in industrial automation and process optimization.

Keywords: lime, drying, control, model, technological parameters, microcontroller ADAM-4000.

Постановка проблеми. Вапно використовується в будівництві вже понад 7000 років. Його використання походить від стародавніх цивілізацій, таких як єгиптяни, які використовували вапняний розчин для будівництва пірамід, і римляни, які широко використовували його у своїх структурах, включаючи акведуки та будівлі. Вапно залишається ключовим матеріалом у будівництві завдяки своїй довговічності та універсальності [1].

Вапно, що використовується в будівництві, зазвичай буває двох основних типів: негашене та гашене (або гідратоване) вапно.

Негашене вапно (оксид кальцію, CaO) виготовляється шляхом нагрівання вапняку в печі при високих температурах для видалення вуглекислого газу. Негашене вапно має високу реакційну здатність, і потребує обережного поводження через його схильність виділяти тепло під час реакції з водою. Його часто використовують безпосередньо для стабілізації ґрунту, будівництва доріг і як сировину для виробництва гашеного вапна.

Гашене вапно (гідроксид кальцію, $Ca(OH)_2$) утворюється шляхом додавання води до негашеного вапна в процесі, що називається «гашенням», у результаті чого утворюється гідроксид кальцію. Гашене вапно є більш стійким і менш їдким, ніж негашене вапно, що робить його придатним для приготування будівельних розчинів, штукатурки та побілки в будівництві. Воно поступово вступає в реакцію з вуглекислим газом з повітря і твердне, що робить його корисним для кладки та збереження історичних пам’яток.

Крім того, існують додаткові види вапна:

– гідравлічне вапно: містить глину і силікати, які схоплюються в результаті хімічної реакції з водою (навіть під водою), ідеально підходить для вологого середовища;

– негідравлічне вапно: застигає в результаті реакції з повітрям, а не з водою, вимагає сухих умов для затвердіння; зазвичай використовується в традиційному будівництві та реставраційних роботах.

Основні відмінності між ними полягають у хімічному складі, реакційній здатності та способах застосування, причому кожен тип підходить для конкретних будівельних робіт, виходячи з вимог до навколишнього середовища та довговічності [2-4].

Модернізація автоматизованої системи керування технологічним процесом виготовлення вапна є дуже актуальною, адже вона призведе до підвищення продуктивності, зменшення впливу на навколишнє середовище, покращення якості продукції та інтеграції з новими технологіями, такими як «Industry 4.0».

Метою роботи є модернізація автоматизованої системи керування технологічним процесом виготовлення вапна.

Аналіз технологічного процесу як об’єкта керування. Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування передбачає вивчення та розуміння різних аспектів процесу для забезпечення його ефективності, керованості та адаптивності. Цей аналіз, як правило, включає наступні компоненти.

1. Структура процесу та аналіз робочого процесу:

– складання карти робочого процесу: визначення кожного етапу процесу, того, як матеріали чи ресурси переходять з одного етапу на інший, і як здійснюється управління цими переходами;

– розуміння залежностей: аналіз залежностей між різними етапами, наприклад, як затримки на одному етапі впливають на решту процесу;

– розподіл ресурсів: оцінка необхідних ресурсів (наприклад, сировини, обладнання, енергії) на кожному етапі для забезпечення їх оптимального використання.

2. Динаміка процесу та змінні:

– ключові змінні: визначення та аналіз критичних змінних, таких як температура, тиск, швидкість потоку і властивості матеріалів, які впливають на продуктивність процесу;

– поведінка змінних у часі: вивчення того, як ці змінні змінюються з часом і як вони взаємодіють, впливаючи на якість і ефективність процесу;

– контрольованість: оцінка того, наскільки ці змінні піддаються контролю, і визначення методів контролю або регулювання в реальному часі.

3. Аналіз «вхід-вихід»:

– матеріальний та енергетичний баланс: розрахунок входів і виходів для визначення ефективності, кількості відходів і потенційних поліпшень у використанні ресурсів;

– контроль якості: оцінка того, як варіативність вхідних ресурсів впливає на якість продукції, та встановлення стандартів для вхідних ресурсів для забезпечення стабільної якості продукції;

– управління відходами: виявлення та аналіз відходів, що утворюються, з метою зменшення або переробки відходів.

4. Аналіз ризиків та несправностей:

– визначення ризиків: визнання потенційних ризиків і точок відмови в процесі, таких як несправність обладнання або дефіцит сировини;

– аналіз режимів і наслідків відмов (FMEA): проведення FMEA для розуміння потенційних точок відмови та їхнього впливу на процес і систему в цілому;

– стратегії пом'якшення наслідків: розробка стратегій для запобігання, зменшення або швидкого реагування на ризики для підтримки безперебійної роботи.

5. Аналіз керування та засобів автоматизації:

– доцільність автоматизації: визначення аспектів процесу, які можна автоматизувати для підвищення ефективності та зменшення людських помилок;

– оцінка системи управління: огляд існуючих систем керування, таких як датчики, ПЛК (програмовані логічні контролери) і системи SCADA (диспетчерського управління і збору даних), щоб переконатися, що вони відповідають потребам процесу;

– механізми зворотного зв'язку: забезпечення наявності контурів зворотного зв'язку для моніторингу даних в режимі реального часу та коригування змінних процесу за необхідності.

6. Показники ефективності та оптимізація:

– ключові показники ефективності (KPI): встановлення та відстеження KPI, таких як рівень виробництва, споживання енергії, якість продукції та рівень відходів;

– визначення вузьких місць: визначення етапів, на яких виникають затримки або неефективність, та аналіз їхніх першопричин;

– стратегії оптимізації: використання аналітичних або статистичних методів для оптимізації змінних процесу, підвищення продуктивності та зниження витрат.

7. Відповідність стандартам безпеки:

– нормативні вимоги: забезпечення відповідності процесу галузевим стандартам і законодавчим нормам, пов'язаним з безпекою, викидами та впливом на навколишнє середовище;

– протоколи безпеки: створення та перегляд протоколів безпеки, таких як процедури аварійної зупинки, а також аналіз їхньої ефективності з точки зору мінімізації ризиків для персоналу та обладнання;

– аналіз впливу на навколишнє середовище: оцінка викидів, утворення відходів та інших впливів на навколишнє середовище для забезпечення дотримання екологічних стандартів.

8. Постійне вдосконалення та адаптивність:

– порівняльний аналіз: порівняння процесу з галузевими еталонами для визначення сфер для вдосконалення;

– цикли зворотного зв'язку для безперервного вдосконалення: впровадження систем для постійного збору даних і зворотного зв'язку, що дозволяє здійснювати постійні коригування та оптимізацію;

– оцінка адаптивності: оцінка того, наскільки добре процес може адаптуватися до змін, таких як нові матеріали, модернізація технологій або вимоги ринку.

Детально зрозуміти процес, виявити недоліки, зменшити ризики та впровадити стратегії постійного вдосконалення можна лише проводячи ретельний аналіз у цих сферах. Це гарантує, що процес залишається контрольованим, оптимізованим та адаптованим до мінливих умов.

Викладення основного матеріалу. У роботі проаналізовано технологічний процес виробництва негашеного вапна. Розглянуто основні типи печей, що використовуються у виробництві негашеного вапна, обгрунтовано застосування обертової печі. Детально розглянуто процес випалу вапна та ключові параметри, які при цьому необхідно підтримувати. Описано компоненти аналізу технологічного процесу як об'єкта керування. Визначено параметри технологічного процесу виробництва вапна, які необхідно контролювати. Визначено задачі автоматизації технологічного процесу виробництва вапна. Розглянуто вхідні і вихідні параметри, параметри керування та збурення. Визначено, що вхідними параметрами є якість і склад вапняку, тип і якість палива, кількість повітря для горіння, швидкість подачі вапняку. Вихідними параметрами є якість вапна, швидкість виробництва, викиди CO_2 і кількість відходів. Керувати процесом можна, регулюючи температуру, співвідношення повітря-паливо, тиск в печі. Збурюючими факторами виступають мінливість палива, температура і вологість навколишнього середовища, коливання якості вапняку, несправності обладнання, коливання електропостачання. Розроблено схему взаємодії параметрів регулювання для випалювання вапна.

Розглянуто мету і ключові цілі розробки функціональної схеми керування технологічним процесом виробництва вапна. Проаналізовано схему технологічного процесу виробництва вапна. Враховуючи розглянуті ключові цілі, розроблено функціональну схему керування технологічним процесом виробництва вапна.

При виборі технічних засобів автоматизації для технологічного процесу виробництва вапна основна мета полягає в тому, щоб обрані засоби автоматизації підвищували ефективність, надійність, безпеку та якість продукції. Враховуючи високі температури, безперервну роботу та суворі вимоги до контролю якості при виробництві вапна, необхідно розглянути найважливіші фактори, на які слід звернути увагу: придатність до високотемпературних і суворих умов експлуатації; точність і надійність вимірювальних приладів; інтеграція з системами управління; ефективні та безпечні системи управління паливом і повітрям; можливості збору даних та моніторингу процесів; енергоефективність та оптимізація ресурсів; можливості віддаленого моніторингу та управління; дотримання стандартів безпеки та охорони навколишнього середовища; економічна ефективність та потреби в технічному обслуговуванні. Орієнтуючись на ці фактори, було обрано засоби автоматизації, які підтримують стабільний, ефективний і якісний процес виробництва вапна, а також відповідають експлуатаційним вимогам і стандартам безпеки галузі. За кількістю вхідних і вихідних аналогових та дискретних сигналів підібрано модулі контролера ADAM 4000 серії. Розраховано характеристики і обрано блок живлення.

Виконано моделювання температурних режимів та енергетичної ефективності процесу кальцинації в обертових печах. Розроблена модель дозволяє оцінити температурний профіль печі, енергетичну ефективність процесу (47,25 %) та вплив ключових параметрів, таких як нахил печі, на час перебування матеріалу. Отримані результати демонструють ефективність теплових процесів і підкреслюють важливість врахування варіативності виробничих умов.

Висновки. Таким чином, запропонована робота покращує контроль за процесом випалу вапна, підвищує енергоефективність, покращує якість продукції, скорочує час простою та інтеграції з технологіями «Industry 4.0».

Новизна роботи полягає у підходах до процесів моделювання та взаємодії людини і машини, які вдосконалюють процеси виробництва вапна та пропонують ширше застосування наукових підходів у промисловій автоматизації та оптимізації процесів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вапно, історичні факти. URL: http://www.lbud.com.ua/uk/uk-informatsijnij-rozdil/-vapno-istorichni-fakti/ (дата звернення 15.04.2024).
2. Технологія отримання будівельного вапна. URL: https://iua.waykun.com/articles/tehnologija-otrimannja-budivelnogo-vapna.php (дата звернення 15.04.2024).
3. Вапно негашене мелене активне. URL: https://kaapri.com/ua/p1808628953-izvest-negashenaya-molotaya.html?srsltid=AfmBOoqdYdc-aWzXHk16ELzMYTeyaWK5XOhxkClusbbmto ZhYQYXHTXY (дата звернення 15.04.2024).
4. Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ) для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2024/07/v5NDTM-TSement-vapno-ta-oksyd-magniyu-Final.pdf (дата звернення 15.04.2024).

СЕКЦІЯ «МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ»

УДК [004.67: 004.9](619-71)
В. М. Місько, Л. О. Гуменюк
Луцький національний технічний університет

АВТОМАТИЗАЦІЯ СЕГМЕНТАЦІЇ МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Робота присвячена розробці скриптів сегментації медичних зображень, що дозволять автоматизувати процес обробки та аналізу даних у медичній сфері. Це сприятиме покращенню точності діагностики, забезпечить більш швидкий доступ до результатів обробки медичних зображень і відкриє нові можливості для досліджень та планування лікування.

Ключові слова: автоматизація, цифрова обробка зображень, Python, нечіткий адаптивний медіанний фільтр, кластеризація, придушення шуму, текстурний аналіз.

V. Misko , L. Gumeniuk. Automation of segmentation of medical images. The work is devoted to the development of medical image segmentation scripts that will allow automating the process of data processing and analysis in the medical field. This will help improve diagnostic accuracy, provide faster access to medical image processing results, and open new opportunities for research and treatment planning.

Keywords: automation, digital image processing, Python, fuzzy adaptive median filter, clustering, noise suppression, texture analysis.

Постановка проблеми. Діагностична візуалізація є безцінним інструментом у медицині. Магнітно-резонансна томографія (МРТ), комп’ютерна томографія (КТ), цифрова мамографія та інші методи візуалізації є ефективними засобами для неінвазивного картографування анатомії суб’єкта. Ці технології значно розширили знання про нормальну та патологічну анатомію для медичних досліджень і є критично важливим компонентом у діагностиці та плануванні лікування.

Зростаючий розмір і кількість цих медичних зображень викликали необхідність використання комп’ютерів для полегшення обробки та аналізу. Зокрема, комп’ютерні алгоритми для окреслення анатомічних структур та інших регіонів, що представляють інтерес, стають все більш важливими для допомоги та автоматизації конкретних завдань. Ці алгоритми, які називаються алгоритмами сегментації зображення, відіграють важливу роль у численних застосуваннях біомедичної візуалізації, таких як кількісне визначення об’ємів тканини, діагностика, локалізація патології, дослідження анатомічної структури, планування лікування та комп’ютерно-інтегрована хірургія.

Актуальність теми зумовлена зростанням обсягу медичних зображень, які використовуються для діагностичної візуалізації. Окрім того, у зв'язку з поширенням цифрових технологій у медицині зростає потреба в автоматизованій обробці та аналізі цих зображень. Швидкий розвиток комп'ютерних алгоритмів у сегментації медичних зображень відкриває нові можливості для точної інтерпретації та аналізу даних, що є критичним у сучасній медицині.

Метою роботи є програмна реалізація методів цифрової обробки зображень, зокрема сегментації медичних знімків, з використанням переваг мови програмування Python для аналізу та інтерпретації медичних зображень.

Аналіз досліджень і публікацій. Обробка зображення починається з процесу отримання зображення. Для отримання цифрових зображень необхідні два елементи. Перший елемент – це датчик: фізичний пристрій, чутливий до енергії, випромінюваної об’єктом, яку потрібно відобразити. Другий елемент – це дигітайзер: пристрій для перетворення виходу чутливого пристрою в цифрову форму. Наприклад, у цифровій камері датчики виробляють електричний вихід, пропорційний інтенсивності світла. Дигітайзер перетворює вихідні дані в цифрові дані.

У процесі отримання зображення виникають шуми. Технологія обробки зображень в основному включає покращення зображення [1], відновлення та фільтрацію зображення [2], стиснення зображення [3], сегментацію зображення [4], виявлення та розпізнавання цілі [5] і класифікацію зображення [6].

Покращення зображення є однією з найпростіших і найпривабливіших областей обробки цифрових зображень.

Сегментація зображень відіграє вирішальну роль в обробці зображень. Завдяки безперервному вдосконаленню технології обробки зображень сегментація зображень розвивається від раннього виявлення країв, об’єднання та поділу областей і виділення контурів до поточної семантичної сегментації.

Для обробки та аналізу цифрових медичних зображень чудовим вибором є Python, поєднання простоти, універсальності, великих бібліотек та активної спільноти якого дає змогу дослідникам та практикам ефективно вирішувати складні задачі в галузі охорони здоров'я та біомедичної візуалізації.

Використовуючи бібліотеки Python, можна ефективно та результативно виконувати широкий спектр завдань з обробки цифрових медичних зображень, таких, як сегментація, реєстрація, виділення ознак або аналіз медичних зображень.

Викладення основного матеріалу. Фільтри в цифровій обробці медичних зображень відіграють ключову роль у поліпшенні якості та аналізі медичних зображень. Вони широко використовуються в медичній діагностиці з різною метою, включаючи підвищення роздільної здатності, видалення шуму, підвищення контрастності та виявлення конкретних структур. На зображеннях рентгенівських знімків, наприклад, фільтри допомагають покращити якість та чіткість зображень, що полегшує діагностику кісткових захворювань та внутрішніх органів. У комп'ютерній томографії вони відновлюють деталі зображень та зменшують артефакти. В магнітно-резонансних та ультразвукових зображеннях фільтри допомагають видаляти шум та підвищувати контрастність. Застосування фільтрів також полегшує виявляти та аналізувати патології на зображеннях, отриманих з використанням позитронно-емісійної томографії. Усе це сприяє покращенню точності діагнозу та ефективному лікуванню пацієнтів.

При застосуванні фільтрів до обробки зображень виникають деякі проблеми, зокрема:

- видалення шуму без втрати деталей;
- вибір відповідних параметрів фільтра;
- збереження краю;
- обчислювальна складність;
- робота з різними видами шуму;
- адаптивна фільтрація;
- придушення артефактів;
- обробка зображення з різними модальностями.

Одним із перспективних підходів для придушення шуму є використання нечіткого адаптивного медіанного фільтра (RBFAMF). Цей метод дозволяє зберігати важливі деталі зображення, навіть коли ймовірність наявності шуму типу «сіль і перець» становить до 20 %. За допомогою нечіткої логіки та адаптивної фільтрації, RBFAMF показав свою ефективність у зменшенні шуму, що робить його особливо корисним у медичній візуалізації.

Основні етапи алгоритму RBFAMF включають ініціалізацію нечітких множин та правил, визначення ступенів належності, нечіткий пошук за правилами та вибір типу фільтрації. Завдяки цим етапам вдається ефективно знизити рівень шуму в зображеннях, при цьому зберігаючи їх деталізацію.

Тестування фільтра з різними ймовірностями показало, що RBFAMF успішно справляється з усуненням шуму при наявності імпульсного забруднення, забезпечуючи при цьому високу якість відфільтрованих зображень.

Точна сегментація медичних зображень є важливим інструментом для роботи лікарів. Однак, незважаючи на численні досягнення та нові відкриття, загальноприйнятий метод сегментації зображення, який давав би точніші результати, ще не розроблений. Така ситуація виникла в результаті того, що на сегментацію зображення впливає багато факторів: цілі, для яких призначені сегментовані зображення, просторові характеристики зображення та природа вихідного зображення. Незважаючи на те, що в галузі сегментації медичних зображень було запропоновано декілька алгоритмів, цей інструмент залишається складною проблемою. Станом на сьогодні при обробці медичних зображень загальноприйнятою є сегментація на основі рівня сірого і текстури.

Процедури текстурного аналізу можна класифікувати на чотири основні підходи: структурний, статистичний, моделі та фільтраційний. У даній роботі особливу увагу приділено фільтраційним методам, зокрема фільтрам Габора, які забезпечують ефективний аналіз текстури завдяки своїй просторовій локалізації та вибірковості орієнтації.

Фільтри Габора дозволяють розкладати зображення на кілька відфільтрованих зображень із заданою частотою, амплітудою та орієнтацією. Процес застосування фільтра Габора до медичних зображень включає кілька етапів: завантаження зображення, налаштування параметрів фільтра, застосування фільтра, об'єднання результатів та візуалізацію. Було продемонстровано, як змінюються результати сегментації залежно від параметрів фільтра, зокрема довжини хвилі.

Сегментація зображень, отриманих за допомогою фільтра Габора, була реалізована через метод порогування, що дозволяє виділити об'єкти інтересу. Результати сегментації продемонстровано для різних типів медичних зображень, включаючи МРТ хребта, печінки та півкуль головного мозку.

У цифровій обробці зображень розрізняють два основних підходи до сегментації зображень: порогове значення та модифікований FCM. Порогове значення надає швидку та просту сегментацію, але обмежується лише інтенсивністю пікселів. Натомість, MFCM дозволяє враховувати текстурні ознаки та геометричні характеристики, що поліпшує точність сегментації.

Перевагою MFCM є можливість призначення кожному пікселю декількох класів, адаптабельність до різної структури зображень та автоматизація процесу сегментації. Але, незважаючи на переваги, використання додаткових методів та фільтрів у MFCM підвищує обчислювальну складність, що може бути проблемою для обробки великих обсягів даних.

Таким чином, MFCM є потужним інструментом для сегментації медичних зображень, який забезпечує точні результати та можливість роботи з різними типами даних, хоча потребує уваги до обчислювальної складності.

Висновки. Таким чином, розглянуто автоматизацію сегментації медичних зображень та програмно реалізовано алгоритми, що забезпечують ефективну обробку та аналіз медичних знімків за допомогою мови програмування Python. Зокрема, було досліджено різноманітні методи сегментації, зокрема нечітке C-середнє, а також реалізовано цифровий фільтр Габора і метод Оцу для автоматичного визначення оптимального порогового значення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Jia K., Wang X., Tang X. Image transformation based on learning dictionaries across image spaces. URL: http://mmlab.ie.cuhk.edu.hk/archive/2012/ pami12_dict_across_space.pdf (дата звернення 06.05.2024).
2. Wen B., Li Y., Bresler Y. Image recovery via transform learning and low-rank modeling: the power of complementary regularizers. IEEE Trans. Image Process. 2020, № 29. pp. 5310-5323.
3. Hu Y., Yang W., Liu J. Coarse-to-fine hyper-prior modeling for learned image compression. In: Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2020, Vol. 34 №. 07, pp. 11013-11020.
4. Minaee S., Boykov Y. Y., Porikli F. Image segmentation using deep learning: A survey. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2021.
5. Tan M., Pang R., Le Q. V. Efficientdet: Scalable and efficient object detection. In: Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. 2020. pp .10781–10790.
6. Wang F., Jiang M., Qian C. et al. Residual attention network for image classification. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/8100166 (дата звернення 06.05.2024).

УДК 629.3
С.О. Приступа М.М. Кахнич А.А. Хорошенко
Луцький національний технічний університет
E-mail: s.prystupa@lntu.edu.ua

ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ CAN-ШИНИ В АВТОМОБІЛЯХ

CAN-шина (Controller Area Network) є центральною комунікаційною мережею в сучасних автомобілях, яка забезпечує обмін даними між ключовими системами, такими як двигун, трансмісія, гальмівна система, системи безпеки та комфорту тощо. Завдяки високій швидкості передачі (до 1 Мбіт/с), стійкості до перешкод і підтримці діагностичних функцій, CAN-шина оптимізує керування автомобілем, підвищує надійність та дозволяє інтегрувати додаткове обладнання.

*Ключові слова**:** автомобіль, мережа, CAN-шина, обмін даними.*

S. Prystupa M. Kahnych A. Khoroshenko Functional capabilities of can-bus in cars. The CAN bus (Controller Area Network) is a central communication network in modern vehicles, enabling data exchange between key systems such as the engine, transmission, braking system, safety, and comfort systems. With high data transmission speeds (up to 1 Mbps), resistance to interference, and support for diagnostic functions, the CAN bus optimizes vehicle management, enhances reliability, and allows for the integration of additional equipment.

Keywords: car, network, CAN bus, data exchange.

Постановка проблеми. CAN-шина є критично важливою технологією для сучасних автомобілів, оскільки забезпечує швидкий, надійний і безперебійний обмін даними між електронними системами автомобіля. З ростом складності автомобільних функцій та інтеграції новітніх технологій, таких як автономне водіння, телематика і системи безпеки, роль CAN-шини стає ще більш значущою. Її універсальність, стійкість до завад і сумісність із сучасними стандартами роблять її основою для розвитку інтелектуальних транспортних систем.

Мета роботи. Дослідити функціональні можливості, принципи передачі даних і конструктивні особливості шини CAN (Controller Area Network) у транспортно-технологічних системах, визначивши її переваги, обмеження та перспективи використання для забезпечення надійного та ефективного обміну даними між електронними блоками автомобіля.

Викладення основного матеріалу. У сучасних автомобілях постійно збільшується кількість різноманітних систем керування, які забезпечують роботу вузлів і агрегатів автомобіля, його безпеку та комфорт. До таких систем належать, наприклад, система керування двигуном, система керування роботою коробки передач, антиблокувальна система, протибуксувальна система, система курсової стійкості, система клімат-контролю тощо. Усі ці системи під час роботи мають постійно обмінюватися даними між собою. Таким чином, ускладнення бортової електронної мережі сучасного автомобіля, збільшення кількості виконавчих пристроїв, датчиків, контролерів та, як наслідок, обсягу інформації, якою вони обмінюються, призвели до необхідності створення високотехнологічної комунікаційної мережі автомобіля. Такою мережею стала шина CAN, яка забезпечує обмін даними між системами керування практично у всіх сучасних автомобілях.

Усі протоколи передачі даних написані різними мовами програмування, а також відрізняються швидкістю зв’язку та структурою переданого сигналу. Якщо взяти приклад датчика положення дросельної заслінки, то комбінації цифрового двобітного сигналу цього вузла можуть містити інформацію про чотири стани положення заслінки (рис. 1).

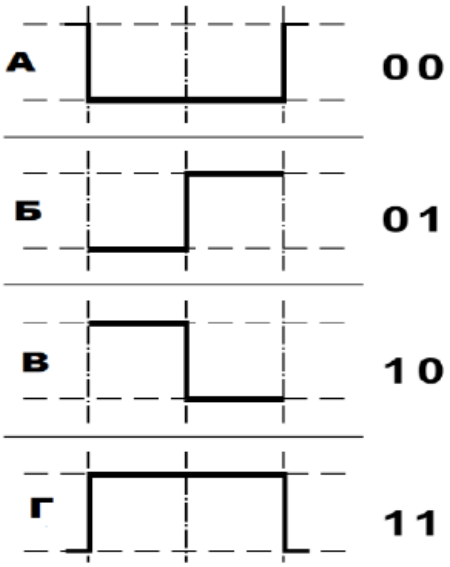


Рисунок 1 – Різні положення дросельної заслінки:
А – заслінка закрита (00); Б – заслінка відкрита на 30% (01); В – заслінка відкрита на 60% (10); Г – заслінка відкрита на 100% (11).

Отже можна зробити висновок, що чим більше станів використовує протокол, тим більше даних зашифровано в його сигналах. Усі блоки системи, які приймають і передають сигнали, повинні бути з’єднані між собою провідниками. Також кожен блок керування може відправляти і

приймати дані навіть одним провідником, що здійснюється за допомогою послідовного обміну даними. Перевага такого обміну полягає в тому, що для послідовної передачі даних потрібен лише один провідник для передачі 8 біт, тоді як для паралельної передачі знадобиться вже вісім провідників. Недолік такої системи полягає в тому, що передача даних займає у 8 разів більше часу.

З іншого боку, послідовна передача даних зменшує кількість провідників, що робить систему надійнішою. Перед кожним байтом даних при використанні технології послідовної передачі надсилається стартовий біт, який є одиничним бітом. Після кожного байта даних надсилається фінальний біт для позначення завершення байта.

Сучасні системи часто використовують не один, а два провідники, оскільки дублювання сигналу дозволяє здійснювати самоперевірку, забезпечуючи додатковий контроль передачі даних в обидві сторони. Крім того, у двопровідних шинах кабелі скручуються для захисту системи від можливих електромагнітних перешкод (рис. 2). У двопровідну шину також вбудовуються узгоджувальні резистори, що усувають можливі спотворення сигналу.

Рисунок 2 – Двопровідна шина

Реалізація передачі даних у CAN може бути різною: двопровідна шина (вита пара), плоский кабель, оптоволокно, радіосигнали, інфрачервоні канали або навіть лінії електропередачі. Основним обмеженням довжини шини є максимально допустима сумарна затримка поширення сигналу для заданої швидкості передачі (у провідниках, вхідних колах контролерів тощо) [1,2].

У сучасних транспортно-технологічних машинах зростає кількість різних систем керування, що забезпечують роботу вузлів і агрегатів машини, безпеку та комфорт. До них належать системи керування двигуном, автоматичною коробкою передач, антиблокувальна система гальм, система курсової стійкості, управління мікрокліматом та багато інших. Усі ці системи мають постійно обмінюватися даними. Ускладнення електричних та електронних систем сучасних автомобілів, збільшення кількості датчиків та виконавчих пристроїв, а також збільшення обсягів інформації призвели до необхідності створення комунікаційної мережі автомобіля.

Такою мережею стала шина CAN (Controller Area Network), яка отримала найбільше поширення серед існуючих стандартів інформаційних шин. Шина CAN – це шина з послідовною передачею даних. Вона є двопровідною і працює зі швидкістю передачі даних до 1 Мбіт/с, що дозволяє оперативно керувати системою. Шина CAN була розроблена компанією Robert Bosch AG у 1987 році спеціально для автомобілебудування. Сьогодні шина регламентована міжнародними стандартами ISO 11898 (високошвидкісна CAN) і ISO 11519 (низькошвидкісна CAN).

Шина CAN – це система з кількох блоків, сконструйована так, щоб усі її блоки могли надсилати та отримувати дані (рис. 3). У шини CAN відсутня адресація компонентів блоків. Натомість для переданих пакетів даних призначаються ідентифікатори.

Шина CAN також використовується для введення і виведення діагностичної інформації, що допомагає прискорити і спростити діагностику. Кожен блок або компонент може надсилати свої дані з певними ідентифікаторами і водночас, зчитуючи ідентифікатори інших даних, визначати, чи потрібно обробляти їх.

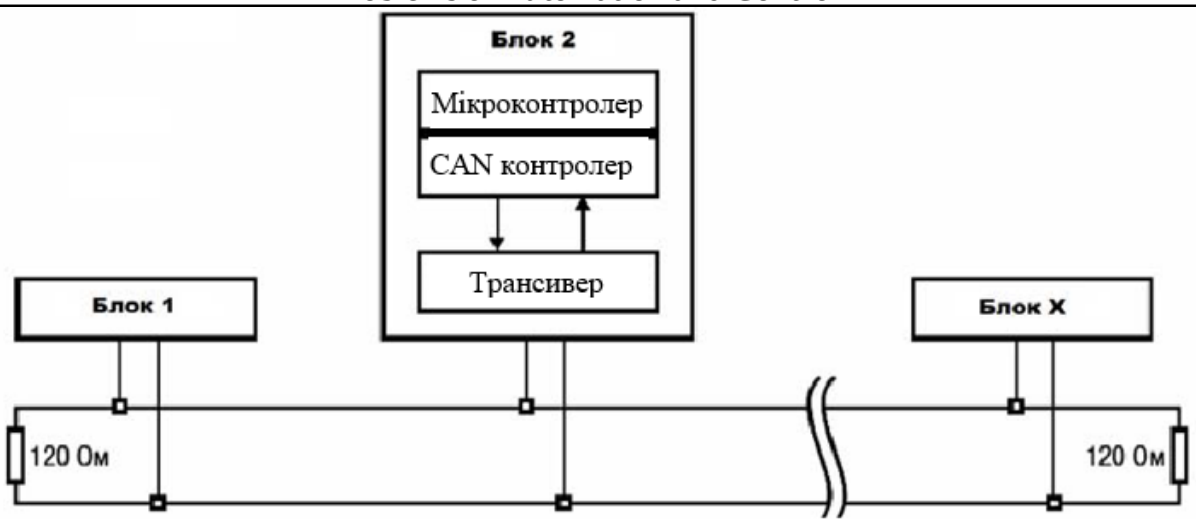


Рисунок 3 – Схема підключення блоків до шини CAN

Ідентифікатори містять інформацію про пріоритетність даних, використовуючи арбітражну схему. Якщо передача даних відбувається одночасно двома блоками, пріоритет віддається важливішому. Арбітраж дозволяє передавати повідомлення з вищим пріоритетом без затримок та спотворень.

Логічні рівні визначаються як «домінантний» (пріоритетний) і «рецесивний» (подавлений). У шини CAN домінантний рівень (логічний 0) завжди має перевагу над рецесивним (логічний 1).

Усі блоки мають контролювати стан сигналів. Після завершення арбітражу дані передає лише переможець. Інші блоки повторюють спробу пізніше. Наприклад, датчик напруги акумулятора передає дані через блок керування двигуном, а ті передаються всім блокам.

У шині CAN повідомлення не є адресними, тобто вони не спрямовуються від одного вузла до іншого. Повідомлення містить ідентифікатор джерела та власне дані. Усі вузли мережі можуть прийняти кожне повідомлення на шині та самостійно визначити: це повідомлення має бути відхилене чи оброблене [3].

Кожен блок, який передає дані, повинен контролювати наявність перших переданих бітів на шині. Повідомлення з нижчим пріоритетом призупиняються, після чого блок, який втратив арбітраж, повинен дочекатися відсутності активності на шині та повторити спробу передачі.

Наприклад, у машині датчик напруги акумуляторної батареї підключений до модуля керування двигуном. Блок керування двигуном, своєю чергою, передає дані, отримані від цього датчика, всім іншим блокам машини. При використанні інтерфейсу CAN усі блоки, яким потрібні ці дані, можуть отримувати їх, минаючи блок керування двигуном.

Іншою важливою особливістю шини CAN є можливість віддаленого запиту даних, які не очікуються, а відповідно до пріоритету запитуються у конкретного блоку.

Максимальна швидкість передачі даних – 1 Мбіт/с, але таку швидкість можна забезпечити лише в мережах з довжиною шини менше 40 метрів. При збільшенні довжини швидкість знижується. Наприклад, при довжині 500 метрів швидкість падає до 125 кбіт/с.

Шини CAN поділяються на три групи:

1. HS CAN (High-Speed CAN): швидкість 500 кбіт/с.
2. MS CAN (Mid-Speed CAN): швидкість 125 кбіт/с.
3. LS CAN (Low-Speed CAN): швидкість 50 кбіт/с.

Усі три типи можуть використовуватися в одній шині автомобіля. Дані передаються у вигляді інформаційних кадрів з інтервалом 1–20 мс. На рисунку 4 показано форму сигналів у HS-CAN.

Базова напруга проводу CAN high (+) — 2,5–3,5 В, а CAN low (-) — 1,5–2,5 В. Ці дані зчитуються всіма блоками, але використовуються лише тими, для яких вони призначені. Кожен блок може передавати:

1) Дані про підключення до мережі;
2) Дані про роботу систем і датчиків;
3) Діагностичні дані на запит.

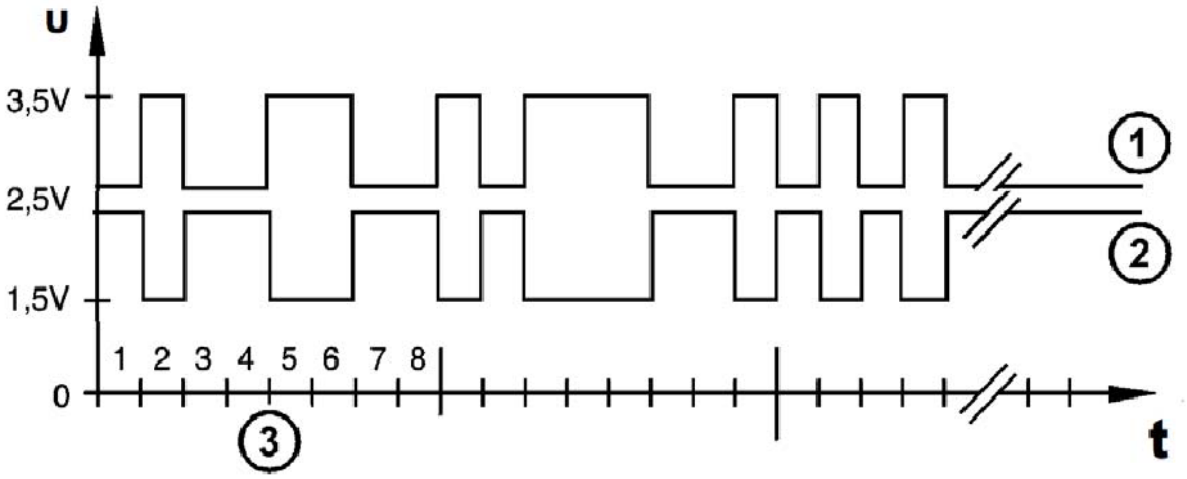


Рисунок 4 Графік сигналу шини CAN

Кожен кадр даних складається з кількох полів (рис. 5). Ідентифікаційне поле містить інформацію про джерело, тип даних і їх розташування. Кількість кадрів залежить від конструкції блоку і потреб системи [4].

Високошвидкісні шини використовуються для керування двигуном, коробкою передач, ABS тощо. Низькошвидкісні – для кондиціонера, аудіосистеми та інших менш критичних компонентів. Приладова панель часто діє як шлюз між шинами різної швидкості.

Ідентифікаційне поле містить інформацію про джерело, тип даних і їх розташування. Кількість кадрів залежить від конструкції блоку і потреб системи.

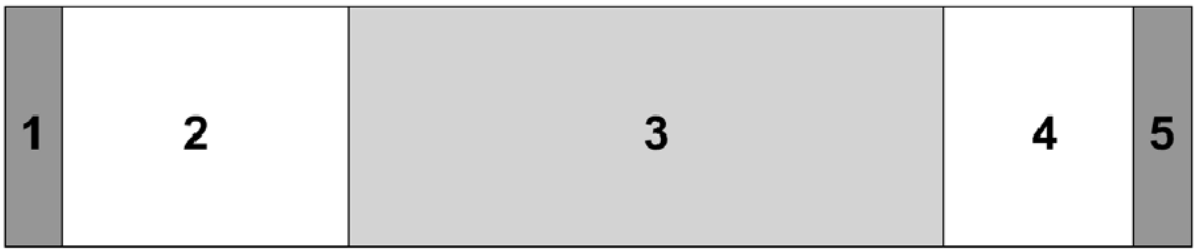


Рисунок 5 Структура кадру даних у шині CAN

У свою чергу, до блоків, що входять у високошвидкісну шину, можуть належати приладова панель, блок керування двигуном, блок керування автоматичною коробкою передач, блок керування рульовим механізмом, гідравлічний блок антиблокувальної гальмівної системи, блок системи пасивної безпеки, а також блок навігації.

Висновки. CAN-шина забезпечує швидкий, надійний та ефективний обмін даними між численними електронними системами автомобіля, що є критично важливим для функціонування як базових, так і передових функцій автомобіля. Її здатність адаптуватися до зростаючих вимог сучасного транспорту робить її незамінним елементом у реалізації інтелектуальних транспортних систем.

CAN-шина має високу швидкість передачі даних (до 1 Мбіт/с), стійкість до електромагнітних перешкод завдяки двопровідній конструкції та скрученим кабелям, а також гнучкість у впровадженні різних архітектур передачі даних. Використання арбітражу та ідентифікаторів забезпечує передачу пріоритетних даних без затримок.

Використання CAN-шини дозволяє скоротити кількість провідників, зменшити час на діагностику та забезпечити віддалений запит даних, що значно підвищує надійність і ефективність роботи бортових систем.

Основним обмеженням CAN-шини є залежність швидкості передачі даних від довжини шини, що вимагає використання окремих сегментів для різних груп систем (HS CAN, MS CAN, LS CAN). У майбутньому розвиток технологій, таких як CAN FD (Flexible Data-Rate), дозволить значно розширити функціональні можливості шини та підвищити її швидкість.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лавринець К. Г., Миронов Д. В., Романов А. О., Дмитренко В. В. «Особливості використання CAN–шини в сучасних автомобілях» // Наукові записки Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. 2019. № 2. С. 36–39.

2. Приступа С. О., Мороз С. А., Хомич Р. О. Автомобільна сигналізація на базі діалогового коду // Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми автоматизації та управління», 22–24 листопада 2023 р. Луцьк: Луцький національний технічний університет, 2023 С. 65–69. URL: http://av.lntu.edu.ua/images/im_2013/konf_2023.pdf.

3. Спеціалізовані бортові системи автомобілів URL: https://e-tk.lntu.edu.ua/pluginfile.php/17454/mod_resource/content/1/%D0%9F%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D1%83%D1%81_%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B5%20%D1%82%D0%B0%20%D0%BC%D1%96%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B5%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D0%B4.%20%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE-84-209.pdf. (дата звернення 8.10.2024).

4. Як працює шина CAN. URL: https://journals.dut.edu.ua. – (дата звернення 15.04.2024).

УДК 621.1

С.О. Приступа А.А. Ткачук А.Ю. Павлюк
Луцький національний технічний університет
E-mail: s.prystupa@lntu.edu.ua

ТЕХНОЛОГІЯ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНІ РІВНІ РОЗУМНИХ ПАРКОВОК НА БАЗІ IoT

Розглянуто вплив інтеграції технологій Інтернету речей (IoT) на модернізацію транспортної інфраструктури, зокрема, в контексті розумних паркувальних систем. Описано архітектуру IoT, що включає чотири функціональні рівні, а також типи датчиків і технології зв'язку, які забезпечують ефективну роботу таких систем. Розглянуто основні переваги впровадження розумних парковок для міського середовища, включаючи оптимізацію паркувального простору, зменшення заторів і зниження викидів вуглекислого газу. Наведено перспективи розвитку IoT у сфері транспортної інфраструктури, які сприяють покращенню мобільності, екологічній ситуації та економічній ефективності.

Ключові слова: Інтернет речей (IoT), розумна парковка, транспортна інфраструктура, сенсорні мережі, автоматизація.

S. Prystupa A. Tkachuk A. Pavlyuk Technology and functional levels of smart parking lots based on IoT The impact of integrating Internet of Things (IoT) technologies on the modernization of transport infrastructure, particularly in the context of smart parking systems, is examined. The IoT architecture, comprising four functional layers, as well as the types of sensors and communication technologies enabling the effective operation of such systems, are described. The main advantages of implementing smart parking solutions for urban environments are highlighted, including the optimization of parking space, traffic reduction, and lower carbon dioxide emissions. Prospects for IoT development in the field of transport infrastructure are outlined, emphasizing improvements in mobility, environmental conditions, and economic efficiency.

Keywords: Internet of Things (IoT), Smart parking, Transport infrastructure, Sensor networks, Automation.

Постановка проблеми. Сучасні міські агломерації стикаються зі значними викликами в організації транспортної інфраструктури, зокрема через обмежену кількість паркувальних місць, високий рівень заторів та значні витрати часу водіїв на пошук вільного паркувального місця. Ці фактори сприяють збільшенню викидів шкідливих речовин в атмосферу, підвищенню рівня стресу у водіїв та погіршенню загальної мобільності населення.

Традиційні паркувальні системи не забезпечують ефективного керування паркувальними просторами та не відповідають потребам сучасного міста. Крім того, відсутність інтеграції таких

систем з іншими елементами транспортної інфраструктури обмежує їх потенціал у вирішенні складних міських проблем.

Проблема, яку вирішує ця наукова робота, полягає в розробці інтелектуальної паркувальної системи, заснованої на технологіях Інтернету речей (IoT), яка забезпечує оптимізацію використання паркувального простору, скорочення часу пошуку місць, зниження заторів і екологічних ризиків, а також створює умови для інтеграції з іншими системами розумного міста.

Ця проблема є актуальною з огляду на потребу в сталому розвитку міських транспортних систем, що сприяє підвищенню якості життя громадян і ефективному використанню міських ресурсів.

Метою роботи є дослідження та розробка концепції розумних паркувальних систем на основі технологій Інтернету речей (IoT), які дозволяють оптимізувати використання паркувального простору, зменшити затори на дорогах, скоротити час пошуку паркувальних місць, знизити екологічне навантаження та інтегрувати ці системи з іншими елементами транспортної інфраструктури для створення сталого міського середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розумна парковка – паркувальне місце, обладнане датчиками, які працюють під керуванням технологій IoT, використання датчиків дозволяє розширити можливості простого паркувального місця, наприклад, для пошуку місця для паркування, а також для збору даних про автомобіль, щоб спростити процес паркування і не мати можливості заїхати на зарезервоване місце.

Архітектура Інтернету речей дуже схожа на чотирьохрівневу архітектуру NGN: додатки, обслуговування, шлюзи і мережі, мережа датчиків.

Нижній рівень архітектури IoT складається з «розумних» об’єктів, інтегрованих із датчиками. Датчики забезпечують збір і обробку даних в реальному часі. Існують різноманітні типи сенсорів для відповідних завдань, наприклад, для вимірювання температури і тиску, швидкості, навігації тощо. Як правило, датчики вимагають підключення до агрегатора датчиків (шлюзу), який реалізується за допомогою локальної мережі (LAN, Local Area Network), наприклад Ethernet і Wi-Fi, або персональної мережі (PAN, Personal Area Network), наприклад Bluetooth і широкосмуговий бездротовий зв’язок на малих відстанях (UWB, Ultra-Wide Band).

Для датчиків, які не потребують підключення до агрегату, їх підключення до серверів/додатків можна забезпечити за допомогою глобальних бездротових мереж WAN, таких як GSM, GPRS і LTE.

Датчики з низьким енергоспоживанням і низькою швидкістю передачі даних утворюють бездротові сенсорні мережі (WSN, Wireless Sensor Network). WSN набувають більшої популярності, оскільки можуть містити величезну кількість датчиків і покривати великі території.

Величезний обсяг даних, що генерується на нижньому рівні IoT кількома датчиками, вимагає надійної та високопродуктивної дротової або бездротової мережевої інфраструктури в якості транспортного середовища. Для реалізації широкого спектру сервісів і додатків в IoT необхідно забезпечити спільну роботу кількох мереж різних технологій і протоколів доступу. Ці мережі повинні забезпечувати необхідні значення для якості передачі інформації, і перш за все для затримки пропускної здатності та безпеки. Цей рівень складається з мережевої інфраструктури, реалізованої шляхом інтеграції різних мереж в єдину мережеву платформу. Абстрактний рівень мережі в IoT дозволяє декільком клієнтам використовувати ресурси в одній мережі незалежно та разом без шкоди для конфіденційності, безпеки та продуктивності через відповідні шлюзи.

Сервісний рівень містить набір інформаційних сервісів для автоматизації технологічних і бізнес-операцій в IoT: підтримка операційної та бізнес-діяльності різноманітної аналітичної обробки інформації, зберігання даних, інформаційна безпека, управління бізнес-правилами, управління бізнес-процесами тощо.

На верхньому рівні архітектури IoT знаходяться різноманітні типи додатків для відповідних сфер діяльності (транспорт, торгівля, енергетика, медицина, освіта тощо).

IoT служить своєрідним ідентифікатором для датчиків, розташованих на парковці, ця технологія дозволяє кожному окремому елементу паркування підключатися до Інтернету і одночасно ідентифікувати решту пристроїв поблизу. Ця технологія широко використовується у сфері обміну даними, дистанційного керування різними об’єктами [1].

Компанія Coca-Cola використовувала IoT для своїх торгових автоматів, щоб вони самі могли повідомляти про кількість напоїв і стан автомата в цілому. Надалі компанія Microsoft спробувала впровадити цю технологію в себе в офісі, для оргтехніки (принтерів, сканерів, МФУ тощо), створити

внутрішню міні-екосистему, щоб техніка сама повідомляла про поломки або коли вимагає уваги спеціаліста.

Масштабування застосування та вивчення цієї технології почалося з 2000-х роках, коли Інтернет, гаджети та технології почали набирати обертів із значно більшою функціональністю, ніж їхні попередники [1]. На рисунку 1 наведені показники, які здатні вимірювати сучасні сенсори IoT.

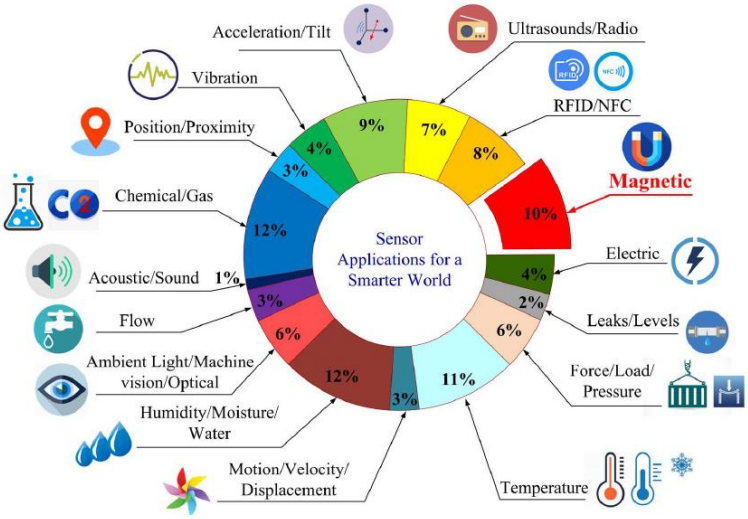


Рисунок 1 – Показники, виміряні датчиками IoT [1]

Як показано на рисунку, найбільший відсоток складають датчики, які вимірюють вологість, хімічний склад, температуру та магнітне поле.

Виклад основного матеріалу. На даний момент на ринку представлено кілька варіантів організаційно-економічного механізму розумного паркування, основні відмінності яких полягають у типах датчиків, які визначають наявність або відсутність автомобіля на парковці, а також функції, які є додатковими до парковка. Існуюче рішення розумної парковки запропоновано на рисунку 2. [2].

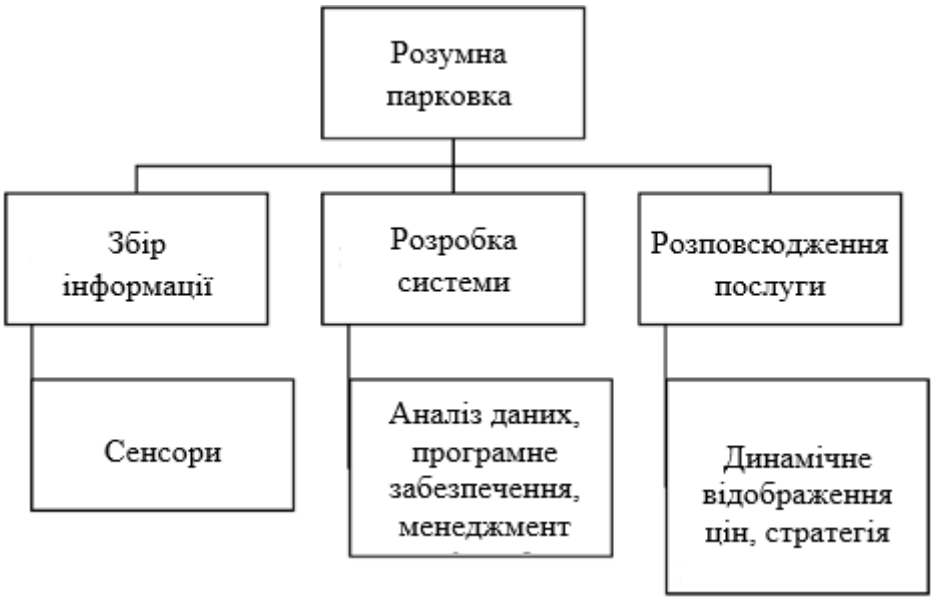


Рисунок 2 – Реалізація розумної парковки

Розумні сенсори використовують такі комунікаційні технології: LoRa, NB-IoT, Sigfox, RFID. В якості додаткових функцій також можна підключити: GPS (для визначення місця паркування, а також місцезнаходження автомобіля) і СМС-інформування.

Загалом датчики виявлення діляться на два види: вбудовані в дорожнє покриття та поверхневі.

Ще однією важливою складовою механізму організації розумного паркування є інтернет-еквайринг – платіжна система, яка дозволяє безконтактно та безконтактно оплачувати послуги паркування.

Таким чином усереднена комплектація розумної парковки виглядає наступним чином:

– мікроконтролер;

– датчики (вільне місце/заняте місце);

– серверне та хмарне сховище для роботи та зберігання інформації, яка надходить від датчиків, користувачів, платіжних сервісів;

– послуги оплати (пункт фізичної оплати, оплата через інтернет);

– мобільний додаток для відстеження розташування та стану (вільних/зайнятих) паркомісць, який також відображає вартість паркування та тривалість оренди в пошуковій системі.

Для виробничих програм можливе укомплектування паркувальних камер, світлових індикаторів, датчиків руху тощо.

Основними перевагами для власників системи паркування є:

– клієнтська лояльність і паркувальна репутація;

– ефективне керування рухом і завантаженням;

– зниження витрат на експлуатацію та обслуговування;

– система повного дистанційного керування з можливістю автопілота.

Переваги для кінцевого клієнта:

– сокрочення часу на пошук паркового місця;

– парковка в зручному для клієнта місці;

– менше турбот про безпеку автомобіля.

Робота для покупця з системою паркування виглядає так:

– заключення контакту на парковку;

– прийом пакета послуг на монтаж і налаштування N-ого контакту місця.

– установка датчиків та їх налаштування.

– внесення користувача в базу даних програми.

Схема роботи кінцевого користувача послуги паркування (водія) представлена на рисунку 3.

Рисунок 3 – Схема системи паркування для кінцевого користувача

Розумне паркування може вирішувати наступні завдання:

1. Втрати часу в процесі пошуку паркувального місця – за даними соцопитувань серед автомобілістів, максимальний час, витрачений на пошук – 30 хвилин на день, а це трохи більше 180 годин на рік. Завдяки системі на основі Інтернету речей водій може забронювати та оплатити місце для паркування заздалегідь або на великій відстані від пункту призначення, що значно скоротить час. Особливо від цього страждають великі європейські міста, що розвиваються [3,4]. У свою чергу, коли час перебування в дорозі зменшується, зменшується кількість витраченого палива та викидів в атмосферу.

2. По тій же причині зменшиться одночасна кількість машин на дорозі, а отже і завантаженість дороги.

3.Розумна парковка в симбіозі з механізованою могла б вирішити проблему нестачі паркувальних місць, оскільки одна й та сама роторна парковка займає територію двох паркомісць, а натомість передбачає дванадцять.

Оскільки кінцевими користувачами паркування визнаються водії, тобто фізичні особи, розумна парковка також може бути частиною системи розумного дому, коли паркувальне місце в гаражі визначатиме, що незабаром приїде автомобіль власника та почне відкривати ворота, увімкне освітлення та вимкне дверний сигнал.

Те ж саме може відбуватись і коли власник буде відправлятись на роботу, зранку в запланований час парковочне місце буде готове до від’їзду автомобіля.

Результатами завершення проекту є:

– розвиток транспортної інфраструктури (підвищення мобільності громадян, оптимізація міського руху, підвищення ефективності паркувальних місць);

– автоматизація процесів з використанням транспортної та дорожньої інфраструктури;

– покращення екологічної ситуації

– підвищення безпеки дорожнього руху;

– формування привабливого бізнес-середовища.

Переваги впровадження інтелектуальної транспортної інфраструктури на ділянці розумного міста та їх вплив на стан доріг полягають в наступному:

– розвиток паркування в цілому підвищує транспортну доступність міста;

– проекти Smart Parking та Smart City залучають інвестиції;

– оскільки «розумна» парковка є платною і користування нею є повсякденною справою, зростуть і податкові надходження;

– зростання популярності розробки даного сегменту посилює конкуренцію, що, в кінцевому підсумку, призведе до зниження ціни для споживача.

Впливаючи на дорожню обстановку міста, такі проекти, як «розумна парковка», дозволяють розвивати інфраструктуру міста не тільки з точки зору благоустрою району, але й використовувати технології для розширення можливостей звичайного паркування, а також залучати інвестиції для подальшого розвитку. розширення програм розвитку.

Висновки. Інтеграція IoT у транспортну інфраструктуру дозволяє вирішувати актуальні проблеми міських середовищ, такі як тривалий пошук паркувальних місць, затори та високий рівень шкідливих викидів, шляхом автоматизації та оптимізації паркувальних процесів.

Розумні паркувальні системи, побудовані на основі IoT, забезпечують ефективне керування паркувальним простором через використання сенсорних мереж, які передають дані в реальному часі, скорочуючи час і ресурси, необхідні для організації паркування.

Технології IoT, продемонстрували свою ефективність у побудові бездротових сенсорних мереж, які здатні забезпечити високу точність і стабільність роботи розумних паркувальних систем навіть у масштабних міських умовах.

Переваги впровадження розумних паркувань включають підвищення мобільності міського транспорту, зменшення експлуатаційних витрат, зростання клієнтської лояльності, покращення екологічної ситуації та підвищення ефективності використання міських територій.

Економічна ефективність і перспективи масштабування таких систем є ключовими для залучення інвестицій, розвитку інноваційного бізнесу та створення умов для інтеграції паркувальних рішень у ширші концепції розумного міста.

Результати роботи підтверджують, що розумні паркувальні системи здатні не лише оптимізувати роботу існуючих інфраструктурних об’єктів, але й сприяти розвитку екологічно сталих і високотехнологічних міст.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Liu Xuyang, K.H. Lam, Ke Zhu, Chao Zheng. Overview of Spintronic Sensors With Internet of Things for Smart Living/ Liu Xuyang. 2019. – URL: https://www.researchgate.net/figure/Common-sensor-categories-including-magnetic-sensors-in-IoT-applications-Magnetic-sensors_fig1_334760981 (дата звернення: 24.10.2024).

2. Moh Sukron Mufaqih, Emil R. Kaburuan, Gunawan Wang. Applying smart parking system with internet of things (IoT) design. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering/ Moh Sukron Mufaqih. – // iopscience.iop.org: – 2020. – URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/725/1/012095/pdf (дата звернення: 24.10.2024).

3. P. Bakhovskyy, A. Tkachuk, M. Yevsiuk, O. Zabolotnyi, O. Moroz and O. Satsyk, "Development and Interaction of the VTF Concept with IoT Platforms on the Example of the 5G Standard," 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Athens, Greece, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/DESSERT61349.2023.10416439. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10416439

4. Satsyk, V., Cagáňová, D., Reshetylo, O., Zabolotnyi, O., Tkachuk, A. (2023). Increasing the Speed and Performance of the Drupal CMS Server for Industrial IoT Technologies. In: Balog, M., Iakovets, A., Hrehova, S. (eds) EAI International Conference on Automation and Control in Theory and Practice . EAI ARTEP 2023. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-31967-9_6

УДК 004.9: 629.3

Ю. Г. Сирота, Л. О. Гуменюк
Луцький національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХОПЛЮВАЛЬНОЇ ПЛОЩИННОЇ АВТОСТОЯНКИ

Робота присвячена вирішенню проблеми ефективного управління транспортними потоками та організації паркувальних майданчиків шляхом створення перехоплювальних автостоянок, які сприяють зменшенню заторів та покращенню доступності паркування. Розроблено модель для імітаційного моделювання руху автомобілів та роботи перехоплювальної площинної автостоянки в місті Луцьк. Використання моделі має потенціал покращити умови життя мешканців та ефективність транспортної системи міста.

Ключові слова: перехоплювальні автостоянки, моделювання, імітаційна модель, управління міською інфраструктурою.

Y. Syrota, L. Gumeniuk. Modeling of an intercepting plane parking lot. The article is devoted to solving the problem of effective traffic flow management and organization of parking lots by creating interceptor parking lots that help reduce congestion and improve parking availability. A model has been developed to simulate car traffic and the operation of an interceptor plane parking lot in the city of Lutsk. The model has the potential to improve the living conditions of residents and the efficiency of the city's transportation system.

Keywords: interceptor parking lots, modeling, simulation model, urban infrastructure management.

Постановка проблеми. Однією з актуальних проблем у містах світу є організація паркувальних майданчиків, зокрема перехоплювальних автостоянок, які можуть сприяти полегшенню навантаження на центральні (історичні) частини міста та покращити доступність паркування для мешканців і відвідувачів.

Перехоплювальні автостоянки можуть відігравати вирішальну роль у підвищенні комфортності міських територій, зменшуючи затори, забруднення повітря та труднощі з паркуванням. Це також може допомогти зробити місто Луцьк більш доступним, зручним та безпечним для всіх мешканців та гостей, а також підтримати зростання місцевого бізнесу та економіки.

Метою роботи є розроблення комплексної моделі, яка дозволить моделювати рух автомобілів та організацію роботи перехоплювальної площинної автостоянки в місті Луцьк.

Аналіз досліджень і публікацій. Розвиток паркування автомобілів еволюціонував з плином часу. Один із значущих кроків у цьому напрямку був зроблений завдяки роботизованим паркінгам [1], які використовували механізовані підйомники, конвеєрні стрічки та автоматизовані системи управління для переміщення автомобілів на вільні місця паркування [2]. Сучасні системи паркування можуть включати в себе елементи штучного інтелекту, автоматичне керування та моніторинг стану парковки в реальному часі [3-4]. В останні роки спостерігається перехід до екологічних рішень для паркування, таких як зарядні станції для електромобілів [5].

Міста по всьому світу впроваджують різноманітні рішення для вирішення проблеми паркування в історичних районах. Ці рішення включають в себе: управління паркуванням; регулювання; запровадження правил паркування; ціноутворення; інвестування в громадський транспорт; сприяння використанню альтернативних видів транспорту; створення місць для паркування за межами міста; внесення змін у міське планування; заохочення спільного використання автомобілів. Необхідно зазначити, що ці рішення не є взаємовиключними, і часто найкращим підходом є їх поєднання.

Паркування поза межами історичних центрів міст, також відоме як перехоплювальне паркування – це стратегія, яку використовують міста, щоб зменшити затори на дорогах у місцях з високим трафіком, таких як історичні райони. Цей підхід передбачає створення паркувальних місць у віддалених місцях, таких як автостоянки або гаражі, які відвідувачі можуть використовувати для паркування своїх автомобілів, а потім скористатися громадським транспортом, щоб дістатися до історичного району. Це допомагає зменшити кількість автомобілів на дорогах у центрі, зменшуючи затори і полегшуючи відвідувачам навігацію районом.

Перехоплювальні паркінги можна класифікувати на кілька типів залежно від їхнього розташування, функцій та дизайну [6]. Паркінги «паркуй і їдь», розташовані біля транзитних станцій, автомагістралей або головних доріг, використовуються для заохочення пасажирів залишати свої особисті автомобілі і користуватися громадським транспортом; туристичні перехоплювальні паркінги, розташовані поблизу популярних туристичних напрямків; паркінги для проведення заходів, розташовані біля спортивних стадіонів, концертних майданчиків або інших масштабних споруд; приміські перехоплювальні паркінги; дрібні перехоплювальні парковки, розташовані біля торгових центрів або інших об’єктів роздрібної торгівлі; паркінги в аеропортах. Класифікація перехоплювальних автостоянок може вплинути на їх дизайн, управління та потенціал отримання прибутку.

Моделювання автостоянок все частіше використовується в поєднанні з іншими типами моделювання, такими як моделювання транспортних потоків, для вивчення взаємодії між транспортними засобами на автостоянці і на прилеглих дорогах. Це може допомогти дослідникам та інженерам краще зрозуміти вплив різних проектів парковок і стратегій управління на транспортний потік і затори на прилеглих територіях.

Викладення основного матеріалу. Розглянемо реалізацію базової імітаційної моделі роботи автостоянки. Процедурна реалізація алгоритму наступна.

1) Імпортуємо бібліотеки numpy та matplotlib.pyplot.

2) Встановлюємо значення констант, таких як: кількість смуг автостоянки (num_lanes), інтенсивність прибуття автомобілів (intensity), вмістимість автостоянки (parking_capacity), загальну тривалість симуляції (total_hours).

3) Створюємо список parking_lot, який представляє стан автостоянки.

4) Створюємо порожній список daily_stats для зберігання щоденної статистики зайнятості автостоянки.

5) Описуємо функцію park_car, яка виконує паркування автомобіля на вільному місці на парковці.

6) Описуємо функцію clear_parking, яка зменшує термін паркування для кожного зайнятого місця на парковці.

7) Описуємо функцію print_parking_status, яка обчислює кількість зайнятих місць на парковці та виводить інформацію про стан автостоянки для певної години.

8) Описуємо основний блок коду, де виконуємо симуляцію.

Таким чином отримуємо код для моделювання роботи автостоянки та створення графіку, який демонструє, як міняється стан автостоянки протягом дня (рисунок 1).

Рисунок 1 – Результати моделювання роботи автостоянки при заданих вхідних параметрах

Моделювання роботи автостоянки виконано при наступних вхідних параметрах:

– кількість смуг автостоянки num_lanes = 4;
– інтенсивність прибуття автомобілів на автостоянку intensity = 12;
– вмістимість автостоянки parking_capacity = 300;
– загальна тривалість симуляції в годинах total_hours = 24.

Для врахування зміни інтенсивності руху протягом доби додамо до отриманої базової моделі зміну інтенсивності прибуття автомобілів на автостоянку в рамках симуляції наступним чином:

– ранок з 6 до 10 години – інтенсивність руху 12 автомобілів;
– день з 11 до 18 години – інтенсивність руху 20 автомобілів;
– вечір з 19 до 23 години – інтенсивність руху 8 автомобілів;
– ніч з 24 до 5 години – інтенсивність руху 5 автомобілів.

Результат моделювання роботи автостоянки з врахуванням зміни інтенсивності руху протягом доби приведено на рисунку 2.

Рисунок 2 – Результат моделювання роботи автостоянки з врахуванням зміни інтенсивності руху протягом доби

Аналізуючи графіки, можна зробити висновок, що найбільша заповнюваність автостоянки спостерігається в середні дня, приблизно в 9:00-18:00. Ці години відповідають робочому дню. Найнижча заповнюваність спостерігається вночі, приблизно з 23:00 до 6:00, коли люди переважно перебувають вдома.

Висновки. Таким чином, запропоновано алгоритм та розроблена програмна реалізація на мові Python імітаційної моделі для дослідження роботи автостоянок, яка дозволяє визначати кількість смуг та їх вмістимість, а також аналізувати середню заповнюваність автостоянки протягом дня та тижня. Модель, ґрунтується на принципах статистичного моделювання, щоб імітувати діяльність на автостоянці. Ключовими компонентами моделі є моделювання прибуття автомобілів та визначення тривалості паркування. Поєднання цих двох компонентів дозволяє моделі генерувати реалістичні симуляції, які враховують різні сценарії та варіації. Модель може бути корисною для міських планувальників, власників комерційних паркінгів, а також для дослідників, які працюють над оптимізацією використання міського простору.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

5. Parking and the City. URL: https://www.researchgate.net/publication /326609772_Parking_and_the_City (дата звернення: 20.05.2024).

6. Parking, Planning, and Design. URL: https://www.imegcorp.com/services /parking-planning-design/ (дата звернення: 20.05.2024).

7. The High Cost of Free Parking. URL: https://www.researchgate.net/publication /235359727_The_High_Cost_of_Free_Parking (дата звернення: 20.05.2024).

8. Smart parking sensors, technologies and applications for open parking lots: A Review URL: https://www.researchgate.net/publication 324822320_Smart_parking_sensors_technologies_and_applications_for_open_parking_lots_A_Review (дата звернення: 20.05.2024).

9. Park and Ride System: A Complete Overview. URL: https://europarkingservices.com/park-and-ride-system/ (дата звернення: 20.05.2024).

10. Managing Parking: A Guide to Effective Parking Management Strategies. URL: https://www.vtpi.org/park_man.pdf (дата звернення: 20.06.2024).

УДК 621.314.1

Стьопкін В.В., Опалько А.В., Гаркунов В.А.
Український державний університет науки і технологій
E-mail: vasilstopkin@gmail.com

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ У TIA PORTAL SIEMENS

Об’єктом розробки у даній роботі є математична модель системи керування електроприводом змінного струму на базі навчального стенду з приводом SINAMICS S120. З метою дослідження способів керування асинхронним двигуном з перетворювачем частоти лінійки SINAMICS S120 фірми Siemens з реалізацією різного характеру навантажувальних діаграм була зконфігурована відповідна модель привода у середовищі TIA Portal. Модель привода складалася з програмованого логічного контролеру, модулю зв’язку з мережею, системи керування випрямлячем та системи керування інверторами для асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором та синхронного двигуна з постійними магнітами. Навантаження для асинхронного двигуна реалізовано за допомогою синхронного двигуна, яких механічно з’єднаний валом з асинхронним двигуном.

Ключові слова: асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, синхронний двигун, перетворювач частоти, програмований логічний контролер, регулятор швидкості, регулятор струму, система підпорядкованого регулювання, швидкодія

V. Stopkin, A. Opalko, V. Garkunov. Development of automated electric drive control system in Tia Portal Siemens. The object of development in this work is a mathematical model of the control system of an AC electric drive based on a training stand with a SINAMICS S120 drive. In order to study the methods of controlling an asynchronous motor with a frequency converter of the SINAMICS S120 line from Siemens with the implementation of various types of load diagrams, a corresponding drive model was configured in the TIA Portal environment. The drive model consisted of a programmable logic controller, a network communication module, a rectifier control system and an inverter control system for an asynchronous motor with a squirrel-cage rotor and a synchronous motor with permanent magnets. The load for the asynchronous motor was implemented using a synchronous motor, which is mechanically connected by a shaft to the asynchronous motor.

Keywords: squirrel-cage induction motor, synchronous motor, frequency converter, programmable logic controller, speed controller, current controller, slave control system, speed response

Постановка проблеми, аналіз досліджень і публікацій. Виконання пусконалагоджувальних робіт з впровадження автоматизованого електропривода на підприємствах є найскладнішим та найвідповідальнішим етапом у реалізації подібних автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСУ ТП). На цьому етапі всі рівні автоматизації від виконавчого обладнання рівня програмного забезпечення налаштовуються інженерами в єдину систему.

Пусконалагоджувальні роботи по автоматизованому приводу як правило виконуються у такій послідовності: пусконалагодження автоматизованих систем керування; пусконалагодження електрообладнання та електроприводів; пусконалагодження щитів керування електроприводами; пусконалагодження частотно-регульованих приводів; пусконалагодження контрольно-вимірювальних приладів та датчиків.

Аналітичний огляд [1-5] доводить перспективність заходів з поліпшення технологічних показників шляхом комплексної автоматизації технологічних процесів за допомогою інтелектуального, оптимального та адаптивного керування із використанням інженерного інструменту моделювання Tia Portal.

Постановка завдання дослідження. Метою роботи є розробка конфігурації навчального стенду на базі системи перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ-АД) за допомогою програмного забезпечення Tia Portal фірми Siemens з метою дослідження способів керування з реалізацією різного типу навантажувальних діаграм електропривода.

Викладення матеріалу. З метою дослідження способів керування асинхронним двигуном з перетворювачем частоти лінійки SINAMICS S120 фірми Siemens з реалізацією різного характеру навантажувальних діаграм у середовищі TIA Portal була сконфігурована модель навчального стенду. До складу увійшло таке обладнання: програмований логічний контролер, модуль зв’язку з мережею, система керування випрямлячем (конвертором) та системи керування інверторами для асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором та синхронного двигуна з постійними магнітами. Навантаження для асинхронного двигуна реалізовано за допомогою синхронного двигуна, яких був механічно з’єднаний валом.

Віртуальна конфігурація навчального стенду з системою керування електроприводом змінного струму SINAMICS S120 має наступну комплектацію: SINAMICS керуючий модуль CU320-2 PN [6SL3040-1MA01-0AA0]; дводвигуновий модуль SINAMICS S120 вх. напр.: DC 600В вих. напр.: 3AC 400В, 9A/9A [6SL3120-2TE21-0AA4]; SIMOTICS S синхронний серводвигун 1FK7 компактний 3,0 Нм, 1 00 K, 3000 об/хв, 0,82 кВт [1FK7042-5AF71-1DA0]; Siemens асинхронний двигун 220/380 V, 50 Hz, 1.86/1.07 A, 0.37 kW; SIMATIC DP, центральний процесор CPU 1512SP-1PN для ET 200SP [6ES7512-1DK01-0AB0].

Структурна схема стенду наведена на рис.1.

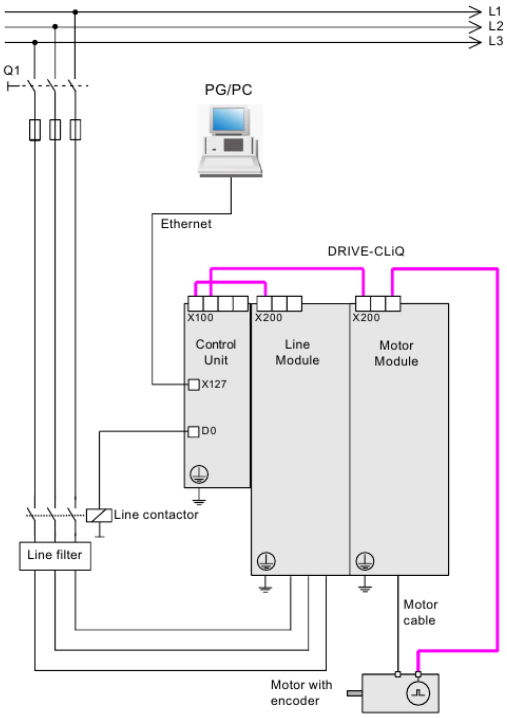


Рис.1. Структурна схема стенду

Конфігурація та програмування програмованого логічного контролеру (ПЛК) здійснювалось у середовищі TIA Portal за допомогою PC. Конструктивно електропривод складається з мережевого

модуля, модулю системи керування та електродвигунів з датчиками. Мережевий вигляд системи керування електроприводом наведений на рис.2.

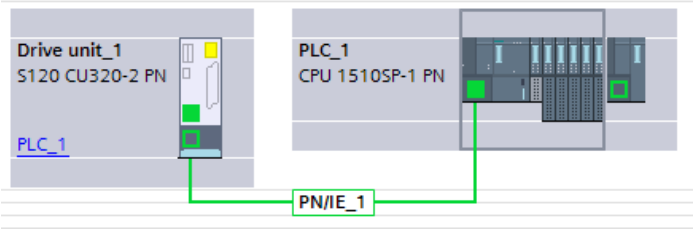


Рис.2. Мережевий вигляд системи керування електроприводом

Блок PLC_1 на базі модулю CPU 1510SP-1 PN для станції SIMATIC ET 200SP, побудований на базі центрального процесору CPU 1511-1 PN програмованого контролеру S7-1500. CPU 1510SP-1 PN - це не дорогий центральний процесор початкового рівня для додатків із середнім рівнем вимог до швидкості обробки інформації та часу відгуку, орієнтований на застосування у секторах автоматизації дискретних процесів. CPU 1510SP-1 PN може використовуватися в режимі контролера або інтелектуального приладу вводу-виводу PROFINET IO. Вбудований інтерфейс PROFINET IO IRT оснащений 3-канальним комутатором, що дозволяє виконувати безпосереднє підключення модуля до магістральних мереж PROFINET, а також проводити підключення комп'ютера/програматора або приладів людино-машинного інтерфейсу. У інтелектуальному режимі введення-виведення CPU 1510SP-1 PN виконує обробку інформації на локальному рівні станції і надає контролеру вищого рівня лише необхідні для роботи дані. Це дозволяє: знижувати навантаження центрального процесора контролера PROFINET IO; отримувати мінімальні часи реакцію зміну вхідних сигналів станції; знижувати навантаження на мережу; прискорювати введення в експлуатацію станції за рахунок використання заздалегідь протестованих блоків та паралельного виконання пуско-налагоджувальних робіт; підвищувати надійність та гнучкість функціонування підприємства за рахунок використання автономних виробничих машин, об'єднаних мережею; отримувати чіткіші зміни систем управління.

CPU 1510SP-1 PN має такі параметри; робоча пам’ять 100 КБ коду та 750 КБ даних; 72 нс час роботи розряду; 4-ступінчаста концепція захисту, технологічні функції – керування рухом, замкнений контур, підрахунок та вимірювання; трасування.

Загальний вигляд станції ET 200SP наведений на рис.3.

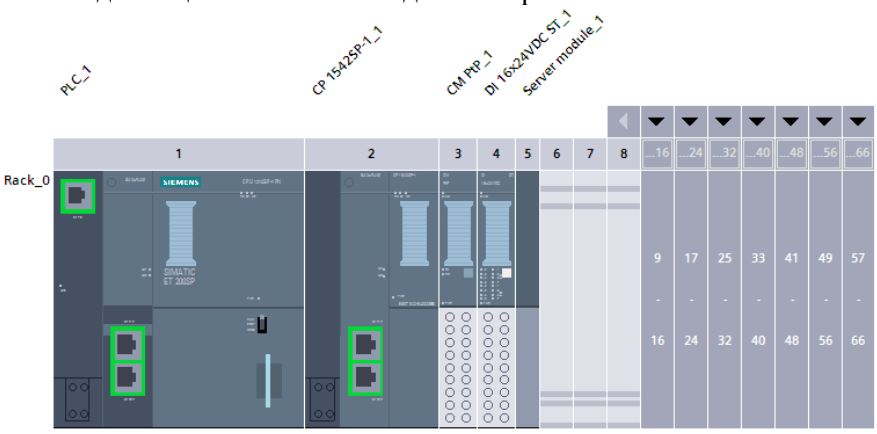


Рис.3. Загальний вигляд станції ET 200SP

Для практичного введення в експлуатацію електропривода та написання програми ПЛК використовується програмне забезпечення TIA Portal v15. TIA Portal [1] – це інтегрована середа розробки програмного забезпечення систем автоматизації технологічних процесів від рівня приводів та контролерів до рівня HMI.

Для наладки асинхронного та синхронного електроприводів використовується програма SINAMICS Startdrive, яка є частиною інтегрованої середи розробки TIA Portal. Для написання програми контролеру використовується програма Step 7 Professional, яка є частиною інтегрованої

середи розробки TIA Portal. Для написання програми будуть використовуватися мови програмування мікроконтролерів згідно із стандартом IEC.

На рис.4 наведені графіки перехідних процесів скалярного закону керування, а на рис.5 – векторного. Скалярний та векторний закони керування тут реалізовані при завданні швидкості 15% і момент 30% від номінальних значень.

Від'ємні значення частоти обертів, струму та моменту пояснюється тим, що синхронний двигун був навантаженням для асинхронного і обертався у протилежному напрямку.

З рис.5 чітко видно статичну помилку за швидкістю при скалярному керуванні (15%) а при векторному вона відсутня. При скалярному керуванні коливальність моменту значна а при векторному вона практично відсутня. Значення різниці швидкостей наведено на рис.5 (у вікні праворуч з позначкою). На цьому графіку прийняті позначення w15 та m30 що означає значення швидкості 15% а моменту навантаження 30%.

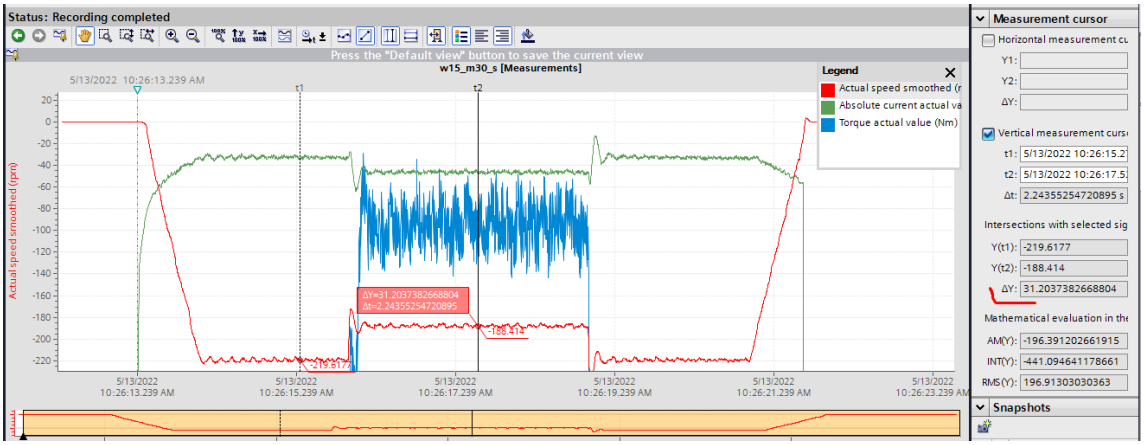


Рис.4. Скалярний закон керування

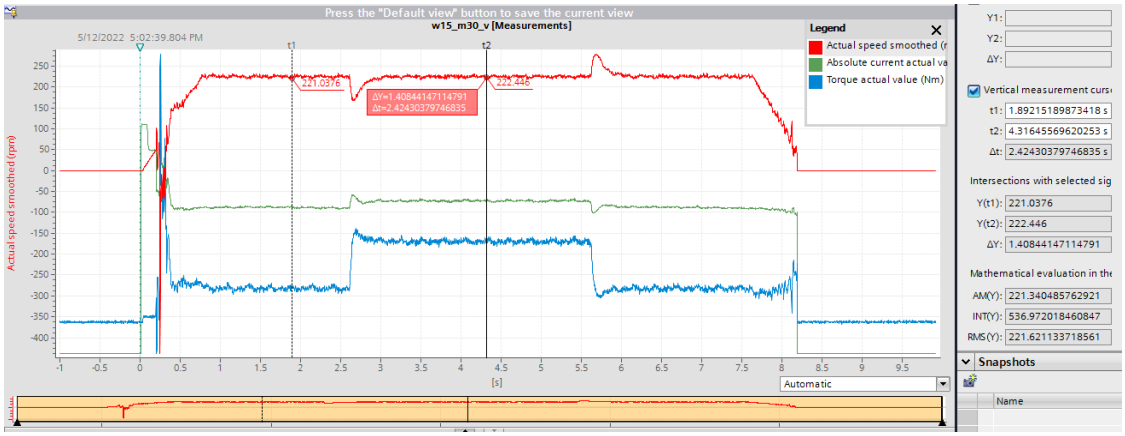


Рис.5. Векторний закон керування

На рис.6 наведені графіки перехідних процесів скалярного закону керування, а на рис.7 – векторного, при завданні швидкості 50% і момент 50% від номінальних значень.

На рис.7 при збільшеній до 50% швидкості збільшився момент навантаження до 50%. При цьому присутня значна коливальність за моментом асинхронного двигуна при скалярному законі керування. Неузгодження за швидкістю при скалярному керуванні складало 42,37 об/хв, а статична помилка 5,7%. Відбулося зростання статичної помилки за швидкістю у порівнянні з варіантом на рис.4.

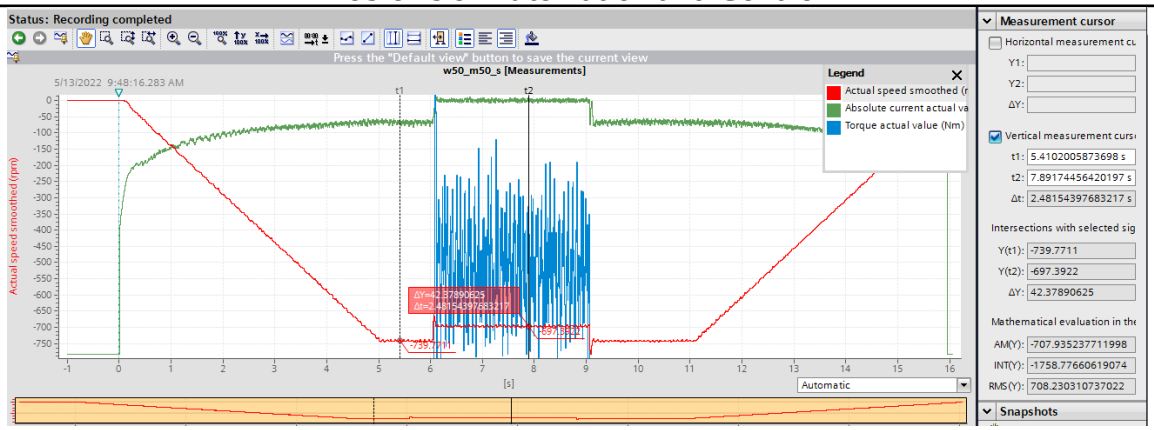


Рис.6. Скалярний закон керування

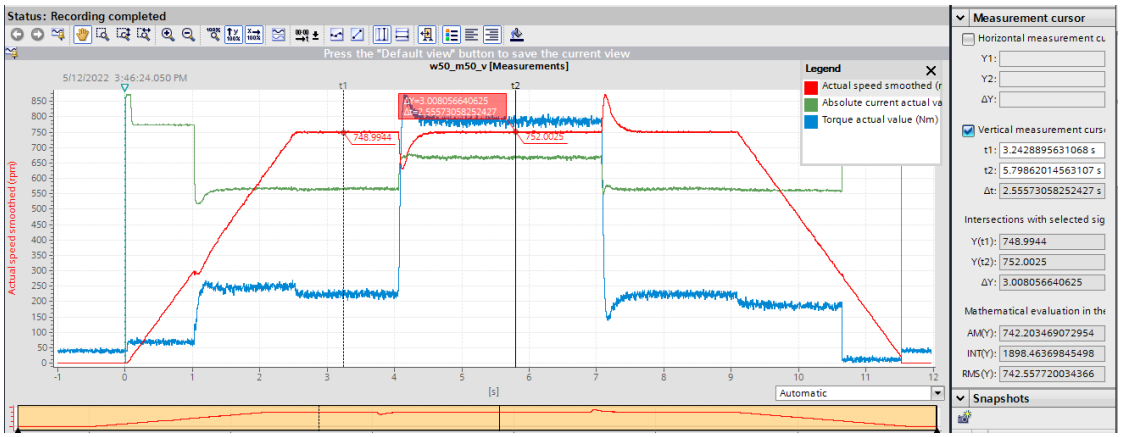


Рис.7. Векторний закон керування

Висновки. В роботі виконано конфігурацію системи керування електроприводом змінного струму в програмному середовищі TIA Portal, зняті діаграми перехідних процесів, виконаний вибір перетворювача частоти, розроблена математична модель скалярної системи керування, розроблена математична модель векторної системи керування, проаналізовані результати моделювання. Розроблена математична модель електропривода дозволить отримувати адекватні результати моделювання при використанні лінійки перетворювачів SINAMICS S120 при відпрацюванні скалярного та векторного закону керування з різними навантажувальними діаграмами. Результати роботи можуть бути використаними для реалізації реальних систем автоматичного керування електроприводом змінного струму на базі SINAMICS S120 фірми Siemens.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Siemens. Tia Portal. Totally Integrated Automation Portal. URL: https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/prohramne-zabezpechennya-dlya-promyslovosti/prohramne-zabezpechennya-dlya-avtomatyzatsiyi/tia-portal.html.

2. Siemens. SINAMICS S120. Введення до експлуатації за допомогою інструменту STARTER [Електронний ресурс] / Siemens // Siemens. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: https://cutt.ly/AH9mXQa.

3. Siemens. Довідник SINAMICS S120 [Електронний ресурс] / Siemens // Siemens. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: https://cutt.ly/JH9W4KD.

4. Siemens. SIMATIC WinCC (TIA Portal) V15 [Електронний ресурс] / Siemens // Siemens. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://cutt.ly/cH9O11g.

5. Сучасні перетворювачі частоти в системах електропривода : навч. посібник / М. В. Загірняк, Т. В. Коренькова, А. П. Калінов, А. І. Гладир, В. Г. Ковальчук. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – Харків: Видавництво «Точка», 2017. – 206 с.

СЕКЦІЯ «ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»

УДК 621.391
В. Ю. Денисюк, А. А. Ящук
Луцький національний технічний університет
E-mail: v.denysiuk@lntu.edu.ua

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ КОРИСТУВАЧА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

У даній роботі проведено аналіз методів і моделей оцінки параметрів користувача інформаційної системи заснованих на двофакторному підході дослідження методів аналізу, в тому числі і біометричних параметрів, виявленню їх переваг та недоліків, моделям та алгоритмам, що застосовуються при вирішенні завдань підтримки ухвалення рішень. Аналіз ефективності найпоширеніших методів ідентифікації показав, що для підвищення ефективності програмно-апаратних засобів визначення особи користувача доцільно використовувати двофакторний підхід для оцінки параметрів користувача ІС на основі аналізу таких біометричних параметрів: відбиток пальця та райдужна оболонка ока.
Ключові слова: інформаційна система, користувач, двофакторний підхід, метод, модель, рішення, ідентифікація.

V. Denysiuk, A. Yashchuk. Analysis of methods and models for assessing parameters of koristuvach information system. In this work, the methods and models for evaluating information system user parameters based on a two-factor approach to the study of analysis methods, including biometric parameters, identifying their advantages and disadvantages, models and algorithms used in solving decision-making support tasks were analyzed. The analysis of the effectiveness of the most common identification methods showed that in order to increase the effectiveness of software and hardware means of determining the user's identity, it is advisable to use a two-factor approach to estimate the parameters of the IS user based on the analysis of the following biometric parameters: fingerprint and iris.
Key words: information system, user, two-factor approach, method, model, solution, identification.

Постановка проблеми. В даний час ступінь розвитку інформаційних систем та технологій, вимоги до рівня забезпечення їх безпеки, призвели до того, що існуючі засоби оцінки параметрів користувача інформаційної системи (ІС) для прийняття рішення про допуск його до інформації (облікові записи та паролі, електронні карти доступу, електронні ключі, контроль біометричних параметрів тощо) перестають бути ефективними. Це підвищує ймовірність нанесення не тільки економічної шкоди організації (компанії) через проведення успішних атак інсайдерів та зловмисників, але й не забезпечує необхідний ступінь безпеки персональних даних користувача в інформаційному просторі. Попит на персоналізацію, зручність доступу до інформації або інформаційного об’єкту та активне впровадження «розумних» технологій у людино-машинні, інформаційні та організаційно-технічні системи навіть на побутовому рівні (наприклад, технології «розумного» будинку, технології Інтернету речей тощо) призвели до необхідності створення більш сучасних та надійних механізмів класифікації, розпізнавання та встановлення особи людини. Тому технології підтримки прийняття рішень при дозволі доступу користувачеві до інформації переходять на новий рівень розвитку, використовуючи складні методи оцінки параметрів людини, засновані на поєднанні різних ідентифікаторів, алгоритмів, методів, моделей та протоколів. На одному з важливих місць серед вимог щодо забезпечення безпечного доступу користувача до інформації знаходиться точність чи зниження помилок встановлення особи користувача ІС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Інформаційні системи (ІС) являють собою сукупність технічних засобів та програмного забезпечення, мета яких – забезпечити визначених осіб, необхідною їм, для реалізації трудових функцій, інформацією. Вони застосовуються на промислових об’єктах, в офісах, магазинах, на автостоянках тощо. Інтерес до ІС зростає ще й тому, що наявність такої системи важлива, особливо в умовах пандемії, війни, складної міжнародної обстановки, для ефективної роботи підприємства чи організації. Оскільки в ІС для розглянутих вище випадків користувачу надається конфіденційна інформація, то персоналізація наданих ресурсів інформаційної системи не лише збільшує ступінь

безпеки ІС, у тому числі і запобігає витоку даних та інформації.

Системи контролю та управління доступом (СКУД) розрізняються за такими технічними характеристиками та методами випробувань:

– числом контрольованих точок доступу;
– видом об’єктів контролю;
– за способом управління;
– рівнем захищеності системи від несанкціонованого доступу (НСД);
– функціональним характеристикам [1].

СКУД поділяються на декілька класів:

– системи контролю та управління доступом першого класу – малофункціональні системи з низькою пропускною здатністю, які працюють в автономному режимі та дозволяють доступ всім особам з відповідними ідентифікаторами. У такій системі використовується ручне або автоматичне керування виконавчими механізмами, а також світлова та/або звукова сигналізація [2].

– системи контролю та управління доступом другого класу – монофункціональні системи. Вони можуть бути однорівневими і багаторівневими та забезпечувати як автономну, так і мережеву роботу. Прийом осіб (груп осіб) може здійснюватися за датою, тимчасовим інтервалом. Система здатна забезпечити автоматичну реєстрацію подій та автоматичне управління виконавчими механізмами [3].

– системи контролю та управління доступом третього та четвертого класу, є розподіленими по мережі. У даних СКУД застосовуються ускладнені ідентифікатори та різні рівні мережевої взаємодії (клієнт-сервер, інтерфейси зчитувачів карт, спеціалізовані інтерфейси тощо) [4].

Такі характеристики біометричних систем ідентифікації та аутентифікації користувача ІС поряд з точністю та ефективністю також є значущими:

– час роботи;
– вартість розробки та обслуговування системи;
– стійкість до імітації біометрики;
– простота інтерфейсу.

В даний час існує велика кількість різновидів програмно-апаратних засобів (ПАЗ) визначення особи користувача (ВОК) ІС різних виробників та аксесуарів до них. Аналіз предметної області показав, що всі засоби ВОК ІС мають чотири основні загальні елементи: ідентифікатор користувача (пропускна карта, ключ), пристрій ідентифікації, контролер управління та виконавчий пристрій.

Залежно від способу автентифікації особи користувача ПАЗ розрізняють на види: ручний, механічний, автоматизований, автоматичний.

Найбільш важливими характеристиками ПАЗ ВОК є [5]:

– кількість помилок першого роду (*FRR*);
– кількість помилок другого роду (*FAR*);
– вартість створення та обслуговування ПАЗ;
– надійність функціонування ПАЗ;
– стійкість ПАЗ до зловмисних дій;
– швидкодія елементів ПАЗ;
– ємність пам’яті;
– час реєстрації користувача в ІС.

Питання ухвалення рішення про надання користувачеві інформаційних ресурсів, контролю витраченого на нього часу вирішуються за допомогою ПАЗ організації підтримки прийняття рішення, що реалізують той чи інший метод його прийняття. Основні елементи, що входять у дану систему, це ідентифікатор, зчитувач та контролер [6].

У якості ідентифікатора використовується предмет, на який технологічно можна нанести ключову інформацію. До таких предметів відносяться спеціально створені, наприклад, електронні карти з вбудованим чіпом або існуючі, де у якості коду можна використовувати номер телефону або дані банківської картки.

Карту з кодом можна забути чи навіть втратити. Тому засоби оцінки біометричних параметрів особи користувача ІС для підтримки прийняття рішення щодо надання користувачеві інформації значно надійніші. Ознакою, що визначає рішення про надання інформації є біометричні дані конкретної людини (параметри обличчя, голос, відбиток пальця, параметри райдужної оболонки ока тощо).

Мета роботи. Провести аналіз існуючих технологій, методів та моделей підтримки прийняття рішень щодо надання користувачеві ресурсів, особливостей структури інформаційних систем, а також методів та моделей оцінки параметрів користувача за умов невизначеності.

Викладення основного матеріалу. Під ефективністю ідентифікації розуміється співвідношення між досягнутим результатом (правильною ідентифікацією) та використаними для ідентифікації суб'єкта ресурсами системи. Точність ідентифікації характеризується наступними параметрами:

– кількість помилок першого роду (*FRR* – False Rejection Rate), під якими є ймовірність відмови в доступі користувачеві, має допуск («хибна тривога»);

– кількість помилок другого роду (*FAR* – False Acceptance Rate), під якими є можливість помилкового збігу біометричних характеристик двох користувачів («перепустка мети»).

Всі біометричні технології оцінки параметрів користувача для підтримки прийняття рішення щодо надання йому інформаційних ресурсів засновані на ймовірнісних та статистичних методах. Основним критерієм роботи ПАЗ ВОК є така методика оцінки: ефективність роботи ПАЗ ВОК тим вища, що менше значення ймовірності помилок першого роду при порівняльних значеннях помилок другого роду. Додатковим параметром оцінки є *EER*, як точка рівних значень *FAR* та *FRR* помилок першого та другого роду [7].

Для отримання значень ймовірностей помилок першого та другого роду (*FRR* та *FAR*), проведено оцінку частоти виникнення події «перепустки мети». Для цього досліджувалася організація з надання інформаційних послуг, що складається з *N* співробітників. Ймовірність хибної тривоги внаслідок порівняння параметрів відбитка пальця, отриманого сканером з параметрами з бази даних *N* відбитків, обчислюється за формулою (1):

$$FAR \cdot N. \tag{1}$$

Щодня ІС користуються близько *N* осіб. Тоді з (1) випливає, що ймовірність помилки для робочого дня буде (2):

$$FAR \cdot N \cdot N. \tag{2}$$

Якщо виходити з мети ПАЗ ВОК, то ймовірність помилки помилкової тривоги менш значуща у порівнянні з ймовірністю перепустки мети. Якщо припустити, що одна помилка за робочий день є прийнятною, то з (2) випливає:

$$FAR \cdot N^2 \approx 1 \Rightarrow N \approx \sqrt{\frac{1}{FAR}}. \tag{3}$$

З виразу (3) випливає, що стабільна робота ПАЗ ВОК при $FAR = 0{,}001$ (або 0,1 %) можлива за приблизної чисельності персоналу організації $N \approx 30.$

Найбільш поширеними методами оцінки параметрів користувача ІС, є методи, засновані на розрахунку оцінок статичних біометричних параметрів. Найбільш поширеними параметрами є такі як папілярний малюнок на пальці руки, райдужна оболонка, геометрія обличчя, сітківка ока, рисунок вен тощо. В даний час існує сукупність методів, заснованих на оцінці динамічних параметрів, таких, наприклад, як ідентифікація голосових тонів, динаміка почерку, частота серцевих скорочень, хода тощо [8].

Визначення особи користувача ІС за відбитками пальців (рис. 1) є одним із найбільш поширених методів біометричної ідентифікації [5].

В основі даного методу лежить унікальність малюнка папілярних візерунків на пальці людини. Перевагами цього методу є швидкість, простота використання та надійність результату. Соціологічні дослідження показали, що використання відбитка пальця є найбільш зручним біометричним методом для користувачів, а біометричний сканер відбитків пальців, у свою чергу, компактний та підходить для клавіатури [5].

Зображення відбитка пальця, що зчитується зі спеціального сканера, перетворюється на цифровий код. Після цього його порівнюють із раніше введеною нормою. Існує два основні алгоритми для порівняння результуючого коду з моделлю, доступною у базі даних:

– за точками характеристики;

– за всією поверхнею відбитка пальця.

Рисунок 1 – Сканування відбитка пальця [5]

У першому випадку виявляються характерні точки та їх взаємне розташування, а у другому – досліджується все зображення. Для підвищення надійності ПАЗ ВОК використовується комбінація із двох алгоритмів [9].

Час перетворення зображення відбитка пальця на цифровий код та його порівняння із зразком зазвичай не перевищує однієї секунди, але залежить від розміру бази даних зображення відбитка. При цьому, час, необхідний на сканування не враховується. У середньому відхилення доступу для допустимих користувачів становить близько 3 %, а відсоток неправильної ідентифікації становить менше 0,000001 %. Ця ймовірність помилки набагато менша, ніж в інших біометричних методах [9]. Статистичні характеристики дактилоскопічного методу представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Статистичні характеристики дактилоскопічного методу

Об’єм бази даних, шт.	100	1000	5000	10000
FAR, (%)	0,1	0,01	0,001	0,0001
FRR, (%)	0,3	0,4	0,6	0,9

Райдужна оболонка ока є унікальною характеристикою людини. Малюнок райдужної оболонки практично не змінюється протягом життя людини. Але хвороби ока чи результати отримання травм впливають на цей параметр. Метод ВОК, заснований на оцінці значень райдужної оболонки ока (рис. 2) є одним з найбільш точних серед біометричних методів [5].

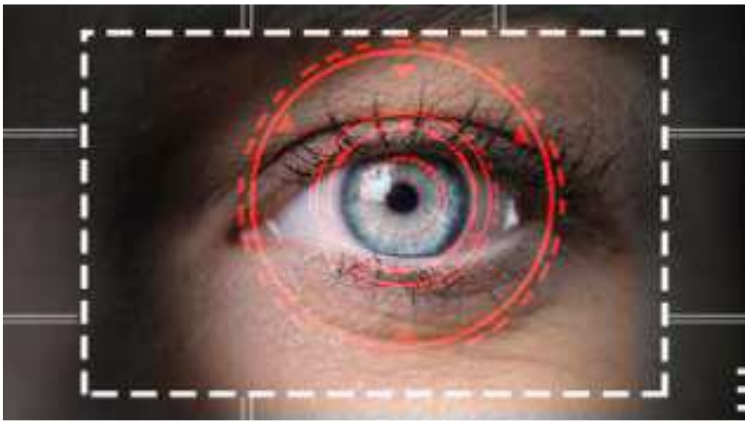


Рисунок 2 – Сканування райдужної оболонки ока

Система визначення особи користувача за допомогою райдужної оболонки ока логічно складається з двох елементів:

– пристроїв захоплення зображення, яке здійснює первинну обробку зображення та передає його на автоматизоване робоче місце (АРМ);

– АРМ, що порівнює зображення із зображеннями з наявної бази даних, та передає команду дозволу на виконавчий пристрій у разі збігу.

Аналіз інформаційних джерел [5-8] показав, що час попередньої обробки зображень райдужної оболонки ока в існуючих ПАЗ становить 300-500 мс, швидкість порівняння параметрів отриманого зображення з параметрами зображень із бази даних становить 50000-150000 порівнянь за секунду на «побутовій» ЕОМ. Таким чином, швидкість порівняння не є обмеженням на застосування методу у великих корпораціях та організаціях. Сучасні технології дозволяють реалізувати цей метод і в мобільних гаджетах для визначення особи людини серед мешканців будь-якої держави.

Як показав аналіз інформаційних джерел [7-9], двовимірне розпізнавання особи користувача є одним із найбільш статистично неефективних методів біометрії. В даний час через погану статистику він використовується в багатофакторній або, як її ще називають, перехресній біометрії [10, 11].

Статистичні характеристики ідентифікації за райдужною оболонкою ока наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Ймовірності помилок при ідентифікації особи за райдужною оболонкою ока

Об’єм бази даних, шт.	100	1000	5000	10000
β-помилки, %	0,1	0,01	0,001	0,0001
α-помилки, %	0,056	0,071	0,106	0,149

В даний час відомі методи тривимірного розпізнавання осіб (рис. 3). Порівняльний їх аналіз утруднений через використання в них апаратних та програмних засобів (сканери, бази даних) великої номенклатури. Але можна сказати, що не всі методи одержують низький відсоток помилок першого роду. Основна відмінність між двовимірним та тривимірним методом – це реалізація накопичення інформації про людину. Тривимірний метод дозволяє отримувати найкращі результати в порівнянні з двомірними методами при використанні одного зчитувача [12].

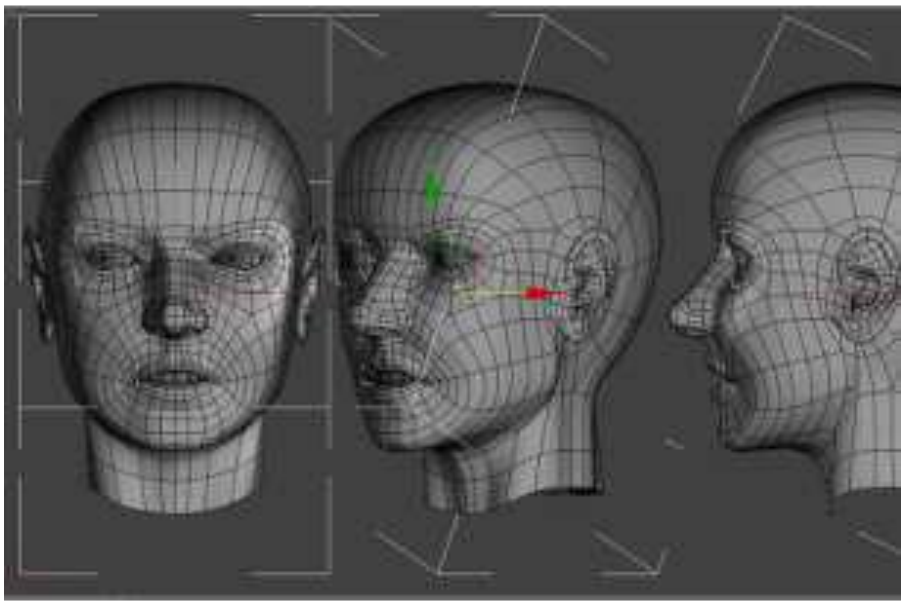


Рисунок 3 – 3-D сканування обличчя

Найзастосовнішим методом є метод проєкції моделі [13]. Для сканування обличчя використовується джерело видимого світла, яке подається через перешкоду, викликаючи ефект «жалюзі». Далі видиме світло змінюється на джерело світла ІЧ-діапазону, який має ряд переваг у порівнянні з видимим світлом. Час захоплення та обробки зображення такими методами становить понад 1-2 секунди [14].

Статистичні характеристики біометричної ідентифікації за обличчям представлені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Статистичні характеристики ідентифікації за обличчям

Об’єм бази даних, шт.	100	1000	5000	10000
FAR, (%)	0,1	0,01	0,001	0,0001
FRR, (%)	2,5	5	6	9

Проведений аналіз методів оцінки біометричних параметрів користувача ІС дозволяє здійснити їх порівняння, як між собою, так та з іншими методами, наприклад за показниками валідності або надійності.

Застосування біометричних методів оцінки параметрів користувача ІС доцільно використовувати в ПАЗ ВОК організацій із числом користувачів, що вимірюються сотнями для підвищення надійності функціонування ІС та при організації контролю оцінок параметрів користувача.

У якості ідентифікаторів атрибутів використовуються автономні носії знаків прийому, наприклад магнітні картки, безконтактні картки наближення, брелки з сенсорною пам’яттю та різні радіомаяки. Біометричні ідентифікатори включають відбиток пальця, геометрію особи, частоту серцевих скорочень, зображення райдужної оболонки та багато інших характеристик. У таких ПАЗ ВОК кожному коду присвоюються певні права та привілеї [5, 7, 8].

Сьогодні використовуються зчитувачі карток, тому що вони мають переваги та зручності у використанні, але в контролері відображається картка, а не персона, за якою картка закріплена. Якщо картку втрачено чи вкрадено – це знижує якість застосування ПАЗ ВОК заснованих на роботі зчитувачів карт, тобто у тих системах, де потрібний високий рівень безпеки. Як показав аналіз предметної області, наведений вище, істотно більш вищий рівень безпеки ІС забезпечується пристроями, що використовують біометричні параметри людини, які дають доступ носію коду.

Таким чином, в біометричних технологіях застосовують загальні підходи до вирішення задачі оцінки параметрів користувача ІС. Ці технології мають однакові етапи реалізації: сканування об’єкта; вилучення індивідуальної інформації; формування моделі або образу параметра та порівняння його значення із базою даних.

При оцінці параметрів користувача застосовуються методи, засновані на фізіологічних характеристиках людини, а також динамічні методи [15, 16].

Класифікація сучасних засобів біометричної оцінки параметрів людини представлена рисунку 4.

Рисунок 4 – Класифікація сучасних засобів оцінки біометричних параметрів

На рисунку 5 наведена статистика систем, що віддають перевагу визначення особи користувача.

Аналіз даних, представлених на рисунках, дозволив зробити висновок про те, що багатофакторні методи та багатофакторний підхід, загалом, мало застосовуються у сучасних системах оцінки параметрів користувача ІС.

Як показав аналіз дослідження предметної галузі, об'єднання інформації для багатофакторної (мультимодальної) біометричної системи оцінки параметрів користувача ІС можливе на всіх етапах отримання та обробки даних: датчики, ознаки, порівняння та прийняття рішення. На етапі порівняння відповідності значень параметрів, отримані оцінки найбільш інформативні та достовірні, а, крім того, цю процедуру досить легко реалізувати апаратно та програмно. У цьому методі різні методи класифікації можуть давати різні оцінки, такі як відстані або метрики відповідності з різними заходами розподілу густини ймовірності та різною точністю. Для того, щоб об'єднати однофакторні оцінки параметрів користувача, необхідна нормалізація значень параметрів, оскільки оцінки, отримані різними методами є однорідними. Сутність нормалізації оцінок параметрів полягає в тому, щоб привести їх до єдиного діапазону змін [0,1], при якому можна провести комплексування оцінок для отримання загальної інтегрованої двофакторної оцінки або застосувати алгоритми нечіткої логіки.

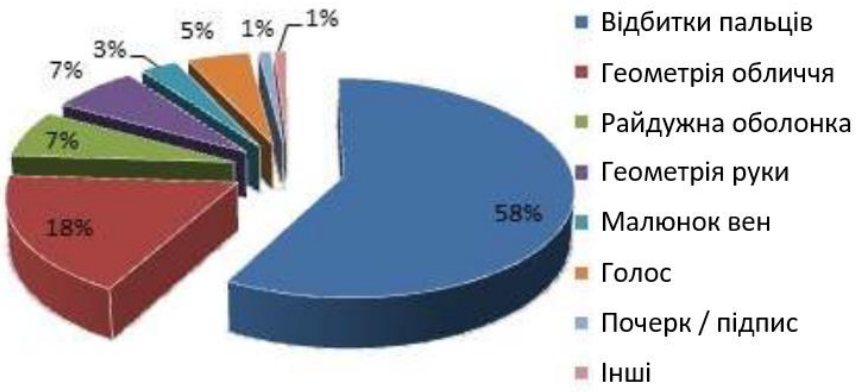


Рисунок 5 – Частота використання біометрії

Для визначення рівня комплексування даних у багатофакторних біометричних ПАЗ ВОК доцільно визначити структуру однофакторного біометричного процесу. На рисунку 6 представлена структурна схема однофакторного біометричного процесу оцінки параметра користувача ІС.

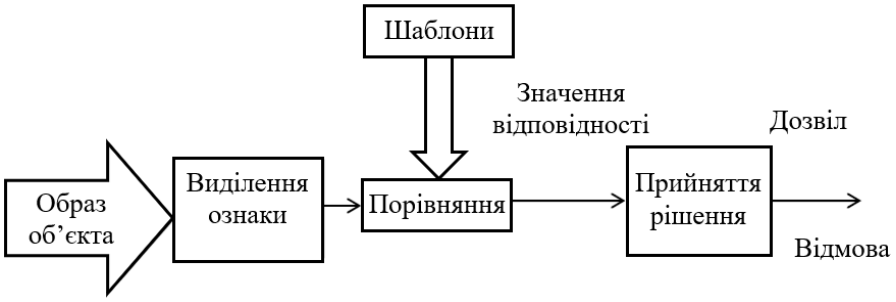


Рисунок 6 – Структурна схема однофакторного біометричного процесу

Біометричний образ об'єкта передається у блок виділення ознаки. На основі відповідних методів обробки даних у блоці виділення ознаки образ перетворюється на вектор ознак (наприклад для відбитка пальця – набір точок Гальтона) у форматі, зручному для порівняння з образом еталона (шаблоном) у блоці порівняння. На виході блоку порівняння отримуємо значення відповідності образу шаблону, які використовуються в блоці прийняття рішення про те, чи надавати користувачеві ІС ресурси чи відмовити.

Узагальнюючи однофакторний процес, на багатофакторний, необхідно уточнити етапи процесу, на яких доцільно здійснити комплексування оцінок. Це можливо на етапах: прийняття рішення, обчислення значень відповідності, формування ознак та біометричних образів. Розглянемо їх більш детально.

1. Етап прийняття рішення. За кожним однофакторним процесом оцінки параметрів

користувача комплексуються із застосуванням методів прийняте рішення, в тому числі і на основі логічних моделей.

2. Етап оцінки значень відповідності. Основні труднощі полягають у тому, що може не збігатися як формат значень, так і розмірність результату оцінки відповідності (масив значень та число).

3. Етап формування ознак. Процес об'єднання значень ознак складний і мало інформативний.

4. Етап отримання образу. Результати сканування об'єкта також, як правило різноформатні, та нормалізація на цьому етапі може призвести до втрати інформації про користувача, що в результаті призведе до помилкового рішення.

У результаті системного аналізу процесу багатофакторної оцінки параметрів користувача зроблено висновок про те, що комплексування оцінок доцільно здійснювати на етапі прийняття рішення. Цей висновок обґрунтовано тим, що комплексування оцінок на етапі прийняття рішення здійснюється після обчислення значень відповідності. На інших етапах процесу оцінки параметрів користувача ІС ця інформація відсутня. У той час як етапи (3) і (4) проводять операції до того, як пристрій порівняння видасть результуючі дані. Таким чином, незважаючи на те, що комплексування оцінок можливе на всіх перерахованих етапах, у даному випадку результат виходить найбільш достовірним, оскільки реалізується перевіреними методами прийняття рішень.

Аналіз інформаційних джерел [9, 14, 15] дозволив сформулювати послідовність дій при організації підтримки прийняття рішення (ППР) про надання користувачеві ІС інформації чи даних (рис. 7).

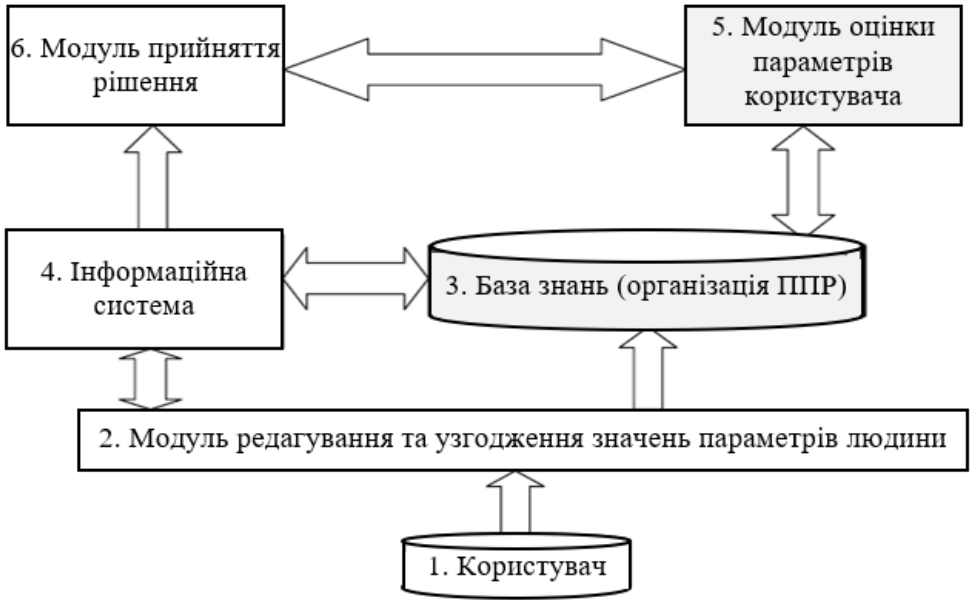


Рисунок 7 – Структурна схема контуру прийняття рішень про надання користувачеві ІС ресурсів

Для прийняття достовірного рішення, отримані в результаті аналізу зображень райдужної оболонки ока та відбитка пальця дані, передаються в контур прийняття рішення. З цих даних формуються оцінки у контурі прийняття рішення.

Контур прийняття рішень складається з п'яти модулів інтегрованих у структуру інтерфейсу ІС:

1. Джерела параметрів людини – початковий набір даних (зображень), з якими здійснює роботу система прийняття рішення в оцінці параметрів користувача ІС.

2. Редагування та узгодження значень параметрів. В даному модулі відбувається збір зображень для створення бази даних зразків, що використовуються при порівнянні. Тут же можлива попередня обробка зображень для зниження невизначеності або усунення шумів на зображеннях.

3. База знань (організація підтримки прийняття рішення). В даному модулі формується база значень параметрів зображень, що аналізуються. База знань, містить правила та логіко-лінгвістичні моделі, що застосовуються для уточнення оцінок параметрів користувача та прийняття рішення щодо надання користувачеві інформаційних ресурсів.

4. Інформаційна система.

5. Модуль оцінки параметрів користувача ІС. У цьому модулі функціонують моделі оцінки параметрів користувача ІС, здійснюються оцінки параметрів людини за окремими критеріями. Якщо оцінка влаштовує ВОК, то відбувається перехід до модуля 6, у іншому випадку здійснюється повернення до модуля 3 та виконується додаткова перевірка параметрів.

6. Модуль прийняття рішення. На основі отриманої інформації з модуля 5 видається рішення про надання або відмову користувачеві ІС інформаційних ресурсів.

На рисунку 7 тоном (модулі 3 та 5) виділено місце застосування моделей, що розробляються.

Аналіз структурної схеми контуру прийняття рішень про надання користувачеві ІС ресурсів дозволив зробити висновок, що для організації підтримки прийняття рішень необхідно побудувати відповідні моделі оцінки параметрів користувача та створити базу знань, що містить еталонні значення параметрів та правила їх порівняння з параметрами користувача.

Висновки. Проведено аналіз методів і моделей оцінки параметрів користувача інформаційної системи, заснованих на двофакторному підході, досліджено методи аналізу, у тому числі і біометричних параметрів, виявлено їх переваги та недоліки. Досліджено моделі та алгоритми, що застосовуються при вирішенні завдань підтримки прийняття рішень.

Аналіз ефективності найпоширеніших методів ідентифікації показав, що для підвищення ефективності ПАЗ ВОК доцільно використовувати двофакторний підхід для оцінки параметрів користувача ІС на основі аналізу таких біометричних параметрів: відбиток пальця та райдужна оболонка ока.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Boddu, Raghu. SAP Access Control. Quincy: SAP PRESS, 2023. 695 p.

2. Kris, Hermans. Mastering Access Control: A Comprehensive Guide to Learn Access Control. Traverse City: Independently published, 2023. 393 p.

3. Mike, Chapple. Access Control and Identity Management. Burlington : World Headquarters Jones & Bartlett Learning, 2021. 376 p.

4. Access Control Systems: Security, Identity Management and Trust Models. URL: https://shazkhan.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/10/access-control-systems.pdf (дата звернення 27.06.2024).

5. 11 типів сучасних баз даних: короткий опис, схеми і приклади БД. URL: https://senior.ua/articles/11-tipv-suchasnih-baz-danih-korotkiy-opis-shemi--pri kladi-bd (дата звернення 28.06.2024).

6. Access Control Technologies: Handbook. URL: https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/ACT-HB_0915-508.pdf (дата звернення 29.06.2024).

7. Денисюк В. Ю., Ящук А. А. Аналіз методів оцінки біометричних параметрів користувача інформаційної системи. *«Прогресивні напрямки розвитку автоматизованих технологічних комплексів»*: зб. наук. праць VIII Міжнар. наук. техн. конф. ТК-2024 (м. Луцьк, 28-30 трав. 2024 р.). Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2024. С. 75-76.

8. Коваль Л. Г., Злепко С. М., Новіцький Г. М. Крекотень Є. Г. Методи і технології біометричної ідентифікації за результатами літературних джерел. URL: https://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2019/2_2019/part_1/19.pdf (дата звернення 11.07.2024).

9. Бідюк П. І., Тимощук О. Л., Коваленко А. Є., Коршевнюк Л. О. Системи і методи підтримки прийняття рішень: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 259 с.

10. A specifier's guide to access control systems. URL: https://www.bsia.co.uk/zappfiles/bsia-front/pdfs/132-specifiers-guide-access-control-systems.pdf (дата звернення 15.07.2024).

11. Kaidyk O., Terletskyi T., Ptashenchuk V., Denysiuk V. About Question of Organising of Physical Access Control System. *Priority directions of development of science and education*: Materials of the III International research and practical internet conference (December, 24, 2021): collection of abstracts. Zdar nad Sazavou: «DEL a.s.», 2021. pp. 56-58.

12. Голуб'як І. В., Косаревич Р. Я. Методи розпізнавання облич. URL: https://core.ac.uk/reader/234094400 (дата звернення 20.07.2024).

13. Корнієнко Д. І. Методи, алгоритми та інформаційна технологія розпізнавання обличчя на основі згорткової нейронної мережі. URL: https://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/157527/kornienko_122m_19_1_diploma.pdf?sequence=1&isAllowed=y (дата звернення 25.07.2024).

14. Терлецький Т. В. Апаратно-програмна реалізація ідентифікації обличь в інформаційних системах CCTV. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/ 39646/1/STd-2_Terletskyi_T_V.pdf (дата звернення 01.08.2024).

15. Кунак І. С., Шпінарева І. М., Пенко В. Г. Ідентифікація особи у відеопотоці методами машинного навчання. URL: http://immm.op.edu.ua/ files/archive/n4_v11_2021/2021_4(5).pdf (дата звернення 15.09.2024).

16. Денисюк В. Ю., Ящук А. А. Аналіз біометричних засобів оцінки параметрів людини. *Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку*: матер. VI-ї Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Луцьк, 23-25 жовт. 2024 р.). Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2024. С. 44-45.

УДК 519.6

Б. О. Пальчевський, О. М. Решетило, Ю. С. Лапченко, А. М. Пілецький
Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ СИПКИХ ПРОДУКТІВ

Робота присвячена аналізу технологічного процесу дозування сипких продуктів. Розглянуто схему дозування стаканчиковим дозатором, кінематичну схему горизонтального стаканчикового дозатора та конструкцію роторног стаканчиковог дозатора. Розроблено параметричну модель об’єкта керування, структуру системи керування дозатором та ієрархічну модель структури системи автоматичного дозування. Спроектовано параметричну модель процесу витікання сипкого матеріалу. Визначено параметри технологічного процесу дозування сипких продуктів. Розроблені вимоги до системи керування.

Ключові слова: технологічний, процес, дозування, сипкий продук, контроль, автоматизована, система, керування.

B. Palchevskyi, O. Reshetylo, Ju. Lapchenko, A. Pileckij. Analysis of the technological process of dosing bulk products. The work is devoted to the analysis of the technological process of dosing of loose products. The dosing scheme with a cup dispenser, the kinematic scheme of a horizontal cup dispenser and the design of a rotary cup dispenser are considered. A parametric model of the control object, the structure of the dispenser control system and a hierarchical model of the structure of the automatic dosing system are developed. A parametric model of the process of flowing out of loose material is designed. The parameters of the technological process of dosing of loose products are determined. Requirements for the control system are developed.

Key words: technological, process, dosing, bulk product, control, automated, system, management.

Постановка проблеми. Аналіз стану теорії та практики вдосконалення процесів дозування сипких харчових матеріалів показав, що багато актуальних питань удосконалення цих процесів дотепер не вирішено через такі недоліки:

– неможливо контролювати однорідність сипкого матеріалу в потоці,

– утворення застійних зон у бункері роторних дозаторів.

Підвищити однорідність вмісту продукту в упаковках можна за рахунок керування режимом руху, так як складно-сипкий зв’язковий матеріал тимчасово або повністю припиняє процес переміщення.

За допомогою об’ємних дозаторів заміряють масу сипкого матеріалу, що дозується, за його обсягом. Але при процесі дозування виникає проблеми зі стабільністю подачі сипучого матеріалу в дозуючий механізм і можливості контролю зводів, що утворюються при цьому. У зв’язку з цим проблема традиційного об’ємного способу дозування сипкого матеріалу полягає у використанні застарілих методів та систем перетворення керуючих сигналів контролерів у керуючі дії у вигляді змінної кількості сипкого матеріалу. Сигнали, що надходять при цьому, в технологічний апарат об’ємного дозатора, не відповідають за своїм технічним рівнем і метрологічним забезпеченням сучасного стану вимірювальної та керуючої техніки. Особлива проблема виникає при дозуванні сипкого матеріалу з різними частинками фракціями. При заданій щільності сипучого матеріалу на етапі його автоматичного дозування в упаковку виникають труднощі рівномірного розподілу частинок за обсягом та формою упаковки, якщо сипкий матеріал відрізняється різними розмірами частинок фракцій. Також недостатньо теоретичних та експериментальних досліджень з фізико-

механічних властивостей сипкого матеріалу, автоматизації контролю його показників якості.

Практично немає досліджень із закінчення сипкого матеріалу з апаратів об'ємного дозування, що утруднює забезпечити якість готової продукції упакованого сипкого матеріалу, зводить до мінімуму економію та підвищення продуктивності праці, забезпечення високоякісного ведення технологічного процесу дозування. Удосконалення, автоматизація та оптимізація технологічних процесів дозування сипких матеріалів визначаються за рахунок підвищення якості керування ними. Системи керування дозуванням сипких матеріалів використовуються на етапах керування ходом технологічних процесів, для регламентації подачі вихідного сипучого матеріалу в технологічні апарати, для дозування кількості готової продукції сипучого матеріалу при його фасуванні, при підготовці до виконання операцій аналітичного контролю та інших випадках. Застосування автоматичних об'ємних роторних дозаторів як об'єктів автоматизації та створення на їх основі систем автоматичного регулювання параметрів технологічних процесів пакування сипучого матеріалу з використанням інтелектуальних технологій дозволяє вирішити цю проблему.

У зв'язку з цим є необхідним дослідження та аналіз об'єкта автоматизації, існуючих та необхідних методів контролю показників якості досліджуваної продукції та розробка на основі отриманих результатів системи управління процесом об'ємного дозування сипкого матеріалу з урахуванням визначення в потоці фізико-механічних властивостей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дискретне дозування характеризується видачею заданої кількості матеріалу однією чи кількома порціями протягом певного інтервалу часу.

Об'ємні дозатори дискретної дії (стаканчикові) являють собою мірні посудини які заміряють масу меленої кави, що пропускається, за її обсягом:

$$M=V\ \rho,$$

де M – маса сипкого матеріалу, кг;

V – об'єм сипкого матеріалу, м^3;

ρ – насипна густина, кг/м^3.

Схема дозування стаканчиковим дозатором приведена на рисунку 1, а Кінематична схема горизонтального стаканчикового дозатора – на рисунку 2.

Маса дози може змінюватися шляхом збільшення або зменшення об'єму склянки. Для чого змінюють відстані між двома дисками за допомогою механізму 8. Регулювання дози, часто проводиться за допомогою серводвигуна без зупинки машини. Бункер 1 заповнюють тілом, що фасується. Включають привід ворушителя та дисків. Диски 2 та 4 подають мірну ємність під бункер, де вона заповнюється продуктом. Далі диски повертаються, і ємність виходить з-під бункера. Відмірена доза відокремлюється від продукту, що знаходиться в бункері, і транспортується в зону розвантаження. Кришка 6 відкривається і продукт через воронку 7 надходить у тару 9. Потім цикл повторюється.

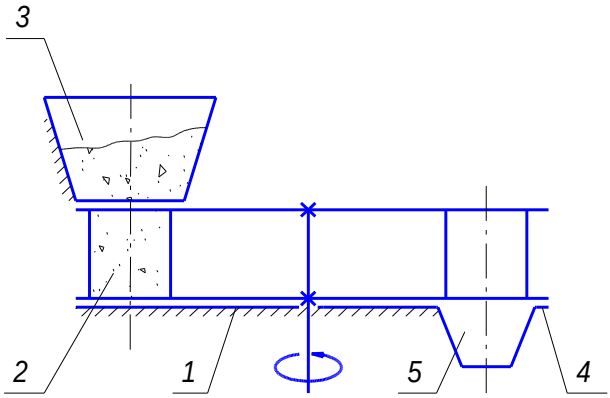


Рисунок 1 – Схема дозування стаканчиковим дозатором

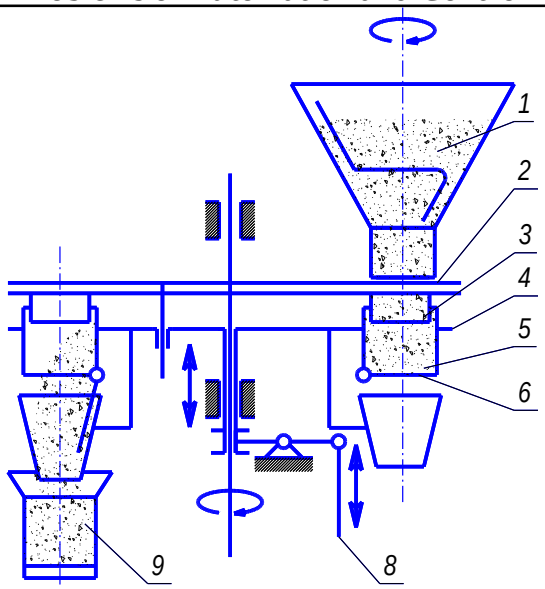


Рисунок 2 – Кінематична схема горизонтального стаканчикового дозатора:
1 – бункер; 2, 3 – верхній диск із півсклянками; 4, 5 – нижній диск із півсклянками; 6 – кришка; 7 – лійка; 8 – пристрої регулювання дози; 9 – упаковка

Стаканчиковий дозатор для сипкого матеріалу відрізняється від інших дозаторів тим, що є недорогим, простим за конструкцією і надійним у роботі. Такий дозатор можна встановити на пакувальних машинах, як низької, так і високої продуктивності. Обсяг дози може змінюватися шляхом збільшення або зменшення відстані між двома дисками та при більшій зміні дози замінюються мірні склянки. Регулювання дози здійснюється за допомогою серводвигуна без зупинки машини, часто прямо з місця контролю маси сипкого матеріалу. Застосування останніми роками дистанційного керування значно розширило межі застосування стаканчикових дозаторів на високопродуктивних пакувальних машинах. На рисунку 3 розглядається прийом дозування, при фасуванні сипкого матеріалу. Стаканчиковий дозатор має: 1. підготовчий бункер; 2. верхній лист; 3. верхній стаканчик; 4. нижній лист; 5. нижній стаканчик; 6. запірна заслінка; 7. вирва; 8. регулювання дози; 9. Упаковка.

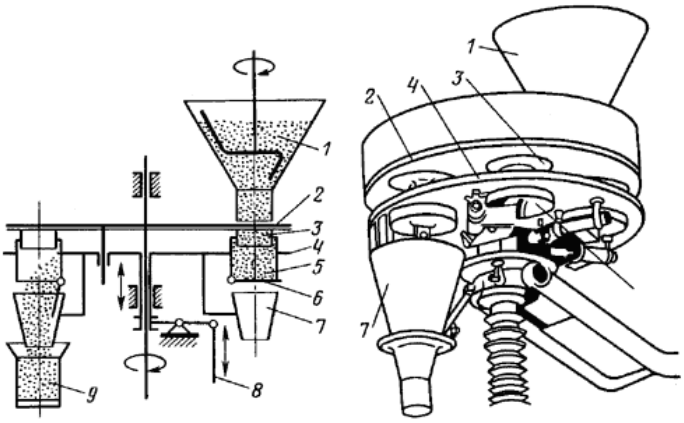


Рисунок 3 – Роторний стаканчиковий дозатор

Стаканчиковий дозатор видає об’ємні порції сипкого матеріалу з частотою, що визначає середню витрату. З позицій теорії автоматичного управління передавальна функція стаканчикового дозатора визначається:

$$Wp\ (P)=ke^{-p\tau}$$

де k – коефіцієнт передачі;

τ – час затримки.

Принцип дії стаканчикового дозатора. Сипкий матеріал із завантажувального бункера надходить у попередню камеру, де накопичується, а потім насипається у мірні склянки. Плита з дозуючими склянками обертається, при цьому важелі відкривають або закривають клапани мірних склянок. Проходячи під бункером ротора, склянка заповнюється продуктом, після чого зміщується. Дійшовши до встановленого місця, клапан відкривається, і продукт через лійку в основі потрапляє в проміжний бункер, з якого поступає в пакувальний автомат. При цьому необхідна кількість продукту бункері підтримується датчиком рівня, встановленим на кронштейні воронки. З харчової труби фасувально-пакувальної машини сипкий матеріал надходить у пакет. Порція сипкого матеріалу регулюється шляхом зміни обсягу склянки, що дозує. Найбільш важливими показниками якості сипкого матеріалу, які необхідно контролювати в процесі дозування є: проміжний рівень сипкого матеріалу в бункері, його густина, щільність, швидкість дозатора.

Від величини рівня сипкого матеріалу у бункері об’ємного дозатора залежить його стабільність при закінчення дозування.

Густина (щільність) сипкого матеріалу приведена на рисунку 4.

Насипна щільність сипкого матеріалу враховує обсяг самих частинок, а й простір між ними, таким чином, насипна щільність менше звичайної щільності. При ущільненні сипкого матеріалу його щільність стає більшою і перестає бути насипною.

Всі методи вимірювання щільності сипких матеріалів засновані на прямому або непрямому вимірі маси та об’єму речовини в пробі, тому вимір щільності може здійснюватися двома шляхами:

1) непрямими методами, наприклад, згасання потоку радіоактивних, рентгенівських або ультразвукових променів, що проходять через контрольовану речовину;

2) абсолютним методом, коли маса та обсяг вимірюються прямими методами окремо та за їх відношенням визначають щільність.

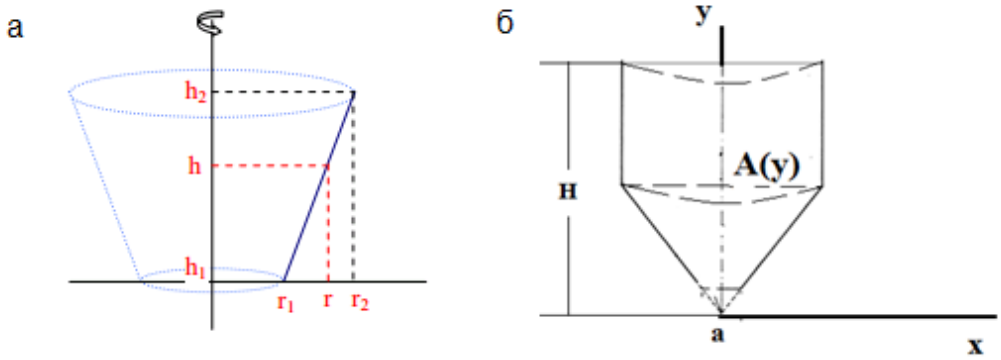


Рисунок 4 – Густина (щільність) сипкого матеріалу

Відомі методи дозволяють отримати надійний результат шляхом роздільного вимірювання об’єму та маси проби сипкого матеріалу з подальшим поділом отриманих даних.

Забезпечення заданих умов проходження сипкого матеріалу реалізується у вигляді управління параметрами електроприводу системи дозування. Специфічність електромеханічних параметрів електроприводу процесу об’ємного дозування проявляється в тому, що ці параметри залежать від фізико-механічних характеристик сипкого матеріалу, що дозується. Нестаціонарний характер збурень технологічних факторів ускладнює керування процесом дозування загалом. Складності налаштування призводять до функціональних обмежень процесу об’ємного дозування, обумовлених зменшенням можливостей стабільної роботи дозатора в необхідному діапазоні параметрів дозування сипкого матеріалу.

Для контролю роботи приладів використовується блок управління як модуль, на якому задаються параметри завдання.

Параметрична модель об’ємного дозатора.

На початковому етапі синтезу законів управління переходять від описових природно-мовних уявлень про процес дозування сипкого матеріалу до математичних та алгоритмічних залежностей, що характеризує зв’язок набору виділених параметрів з процедурами перенесення та перетворення дозованого середовища сипкого матеріалу у просторово-часовому континуумі технологічного об’єкта (рисунок). Дана схема є узагальненою і містить інформації про конкретні значення множин

і зміни координатного простору, що описує систему управління, як і інформації про структуру системи управління стаканчиковим дозатором.

Розкид кількісних показників доз на виході стаканчикового дозатора обумовлений статистичним характером властивостей дозованого сипкого матеріалу на вході стаканчикового дозатора. Нерівномірність подачі, неоднорідність складу сипкого матеріалу залежать від властивостей сипкого матеріалу і вважаються як вхідні параметри на рисунку 5, такі як X1 – розмір часток, X2 – витрата сипкого матеріалу, $q1$[м^3], а також X3 – коефіцієнт витікання, Cd , X4 − вологість, W[%], керуючі впливи U1 − швидкість подачі сипкого матеріалу в бункер, $\omega 1$ [рад/с], U2 − швидкість обертання стаканчикового дозатора, $\omega 2$ [рад/с]. Як вихідні параметри розглядаємо Y1 – продуктивність, Q [упак/хв.], Y2 – вага (об'ємна витрата) сипкого матеріалу, $q2$ [м^3], Y3 – рівень сипкого матеріалу в бункері, h [м]. Як збурювальні фактори розглядаються: Z1 – зміна щільності, ρ[кг/м^3], Z2 – зміна коефіцієнта закінчення, Cd, Z3 – зміна швидкості обертання стаканчикового дозатора $\omega 2$ [рад/с].

Постановка завдання. Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

– розробка математичної моделі дискретного об'ємного дозатора;

– дослідження дозатора, визначення основних шляхів підвищення точності і продуктивності дозування;

– аналіз особливостей гравітаційних живильників для дозаторів дискретної дії з метою виявлення впливу витрати сипучого матеріалу на точність дозування;

– розробка алгоритму оптимального управління подачею сипкого матеріалу для мінімізації похибок дозування.

Контроль процесу об'ємного дозування виробництва сипучого матеріалу має значення, оскільки від нього залежить стабільність якісних характеристик продукту. Тому тема роботи, спрямованої на вирішення цих питань, є актуальною. Вона дозволяє вирішити завдання, пов'язані з вирішенням проблеми створення автоматизованої системи контролю в потоці основних показників якості сипкого матеріалу за допомогою розроблених методів і математичних моделей, що адекватно відображають процеси дозування сипких матеріалів, що відбуваються в апаратах роторних дозаторів. Такі розробки підвищать ефективність роботи апарату, дозволять розробити нові перспективні конструкції цих апаратів, розробити системи моніторингу процесів дозування сипких матеріалів із використанням сучасних інтелектуальних технологій.

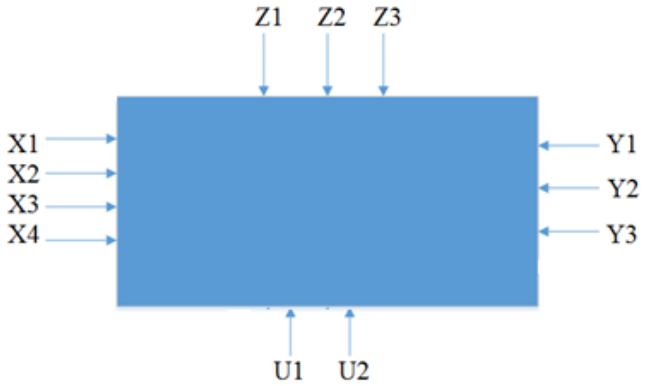


Рисунок 5 – Параметрична модель об'єкта керування

Використання датчика рівня та сучасних математичних методів дозволяє оптимізувати управління технологічними режимами дозування сипкого матеріалу, безперервно отримувати дані про рівень цих мас у бункері дозатора протягом усього технологічного процесу в режимі реального часу, суттєво зменшити рівень браку; втрати робочого часу, сировини та енергії, підвищити якість готової продукції. Вирішення цієї проблеми дозволить побудувати ефективну систему регулювання та управління технологічними процесами дозування сипкого матеріалу.

Завдання дослідження передбачає такі задачі:

1. Аналіз процесу дозування сипкого матеріалу як об'єкта управління та існуючих систем управління процесами дозування сипкими матеріалами.

2. Розробка математичної моделі управління процесом дозування сипкого матеріалу з бункера об'ємного дозатора з урахуванням властивих йому внутрішніх зв'язків між параметрами технологічного режиму та зовнішніми факторами, що збурюють.

3. Моделювання функціонування системи управління приводами подачі об'ємного дозатора при дії стохастичних збурень із завантаження дозатора та фізико-механічних властивостей сипкого матеріалу.

4. Розробка алгоритмів управління процесом дозування, що передбачають облік коригувального впливу за проміжною координатою – рівня сипкого матеріалу в бункері на основі дослідження режимів роботи дозатора та перевірки асимптотичної стійкості системи управління продуктивністю дозатора при дії випадкових збурень і за відсутності перерегулювання за рівнем сипкого матеріалу.

Виклад основного матеріалу. Найбільша ефективність використання дозаторів досягається, якщо регулятором або його основою служать мікро-ЕОМ, що дозволяють компенсувати вплив зовнішніх впливів, що збурюють (наприклад, параметрів технологічного режиму швидкості подачі і швидкості дозатора), вести дозування за заданою програмою, зручно представляти інформацію оператору і передавати результати дозування (наприклад, загальний обсяг пропущеного сипкого матеріалу) на наступний рівень управління [1].

Керуючий контролер розраховує поточну продуктивність дозування і при необхідності формує коригуючий сигнал на регульований частотний привід (рис. 6).

Система управління дозуванням для сипкого матеріалу зазвичай передбачає три рівні: рівень обробки даних, шафа контролю та управління, що безпосередньо включає дозатор як складову частину виконавчого механізму [1].

При аналізі з погляду дворівневої мети управління слід зазначити, що теоретичні моделі, пов'язані з розрахунком режимів руху сипкого матеріалу, не знайшли практичного застосування в програмному забезпеченні, що використовується під час роботи з контролерами для управління дозатором стаканчикового типу.

Система управління фасувально-пакувального автомата зі стаканчиковим дозатором зібрана на базі промислового комп'ютера з кольоровим РК-монітором з сенсорним керуванням, що надає зручний та інтуїтивно зрозумілий алгоритм управління апаратом.

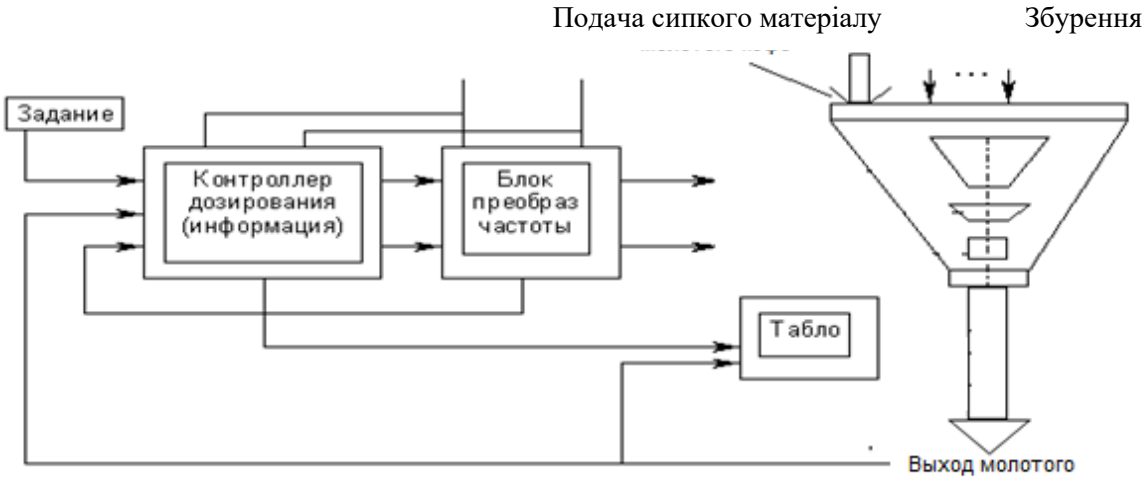


Рисунок 6 – Приклад структури системи керування дозатором

Необхідними елементами системи керування дозуванням є датчики (джерела інформації), пристрої керування обладнанням, блоки живлення, засоби контролю ліній зв'язку, пристрої узгодження інтерфейсів, схеми захисту (для зниження втрат при аваріях обладнання); до датчиків відноситься, наприклад, оптичний датчик визначення рівня сипкого матеріалу в бункері [1].

Функціонування більшості існуючих систем управління процесами дозування сипкого матеріалу спрямоване на досягнення однорівневої мети, пов'язаної із забезпеченням точності дозування за заданої продуктивності. Іноді здійснюється керування продуктивністю стаканчикового дозатора за наявності обмежень на точність продукту в упаковці.

Структури системи автоматичного дозування сипкого матеріалу представляється як чотирирівнева система.

На першому рівні визначається система автоматичного дозування на рисунку, що забезпечує автоматичну видачу заданої кількості сипкого матеріалу в наступні технологічні апарати з необхідною продуктивністю.

На другому рівні моделі визначаються функціональні пристрої системи автоматичного дозування (рис. 7): А - пристрій зберігання сипкого матеріалу (бункер), що забезпечує зберігання запасу сипкого матеріалу, необхідного для тривалої роботи системи автоматичного дозування, а також видачу продукту в наступний пристрій системи; В – пристрій подачі сипкого матеріалу; С – пристрій дозування сипкого матеріалу (дозатор), що здійснює формування та видачу дози сипкого матеріалу у зовнішню систему (технологічну машину) з необхідною продуктивністю; D – система управління (СУ), що забезпечує інформаційні дані режимів роботи системи автоматичного дозування, контроль процесами, що відбуваються, і синхронізацію роботи окремих функціональних пристроїв системи.

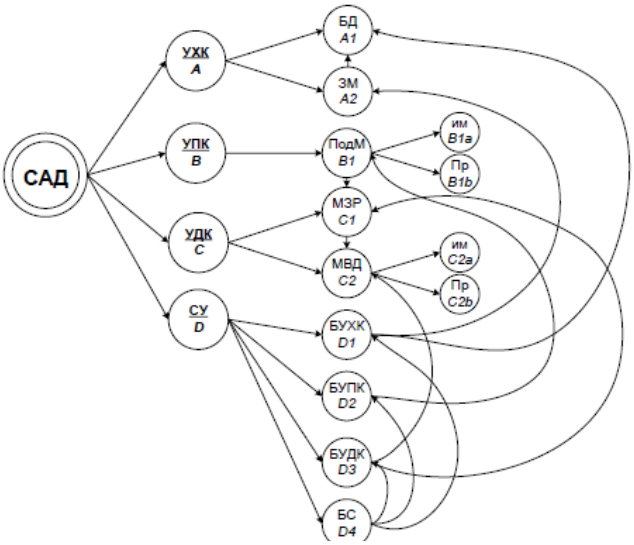


Рисунок 7 – Ієрархічна модель структури системи автоматичного дозування меленої кави

На третьому рівні моделі розташовуються функціональні механізми та блоки управління, що входять до складу функціональних пристроїв системи автоматичного дозування. Функціональні механізми служать для виконання основних робочих функцій (операцій) над сипким матеріалом, а блоки управління забезпечують дотримання заданих режимів і синхронізацію роботи функціональних механізмів [1].

Функціональні механізми зберігання кави:

А1 – бункер стаканчикового дозатора (БД), що забезпечує зберігання запасу сипкого матеріалу;

А2 – затворний механізм (ЗМ), що служить для відмикання випускного отвори бункера стаканчикового дозатора та утримання сипкого матеріалу.

Функціональний механізм пристрою подачі сипкого матеріалу:

В1 – механізм, що подає (ПідМ), що здійснює подачу сипкого матеріалу в бункері стаканчикового дозатора.

Функціональні механізми влаштування дозування сипкого матеріалу:

С1 – механізм формування дози (МФД), що забезпечує підтримку заданої витрати сипкого матеріалу з необхідною точністю;

С2 – механізм видачі дози (МВС), що здійснює транспортування та видачу заданої кількості сипкого матеріалу з необхідною продуктивністю у фасувально-пакувальний автомат (у зовнішню технологічну машину).

Блоки системи керування:

D1 – блок управління зберіганням сипкого матеріалу (БУХК), що служить для контролю кількості сипкого матеріалу в бункері стаканчикового дозатора та керування приводами механізмів затвора;

D2 – блок управління подачею сипкого матеріалу (БУПК), призначений для управління роботою механізму, що подає;

D3 – блок управління дозуванням сипкого матеріалу (БУДК), що контролює та регулює процеси подачі, формування та видачі дози;

D4 – блок синхронізації (БС), що забезпечує синхронізацію роботи всіх функціональних механізмів та блоків управління системи.

Структурні зв'язки САД сипкого матеріалу:

B1A1 – завантаження сипкого матеріалу в бункер стаканчикового дозатора;

A2A1 – замикання випускного отвору бункера;

C1C2 – підготовка дози до видачі;

D1A1 – контроль кількості сипкого матеріалу в бункері;

D1A2 – управління приводом затвора стаканчикового дозатора;

D2B1 – управління режимами роботи живильного механізму;

D3C1 – контроль та регулювання процесу формування дози;

D3C2 – управління процесом видачі дози;

D4D1, D4D2, D4D3 – узгодження роботи блоків управління.

На четвертому рівні знаходяться виконавчі механізми (ІМ) та приводи (Пр), що входять до складу функціональних механізмів, а також датчики блоків керування. Виконавчі механізми (B1a, C2a) виконують безпосередню технологічну функцію, а приводи (B1b, C2b) повідомляють виконавчі механізми необхідні кінематичні рухи і передають робочу енергію.

Було спроектовано параметричну модель процесу витікання сипкого матеріалу (рис. 8).

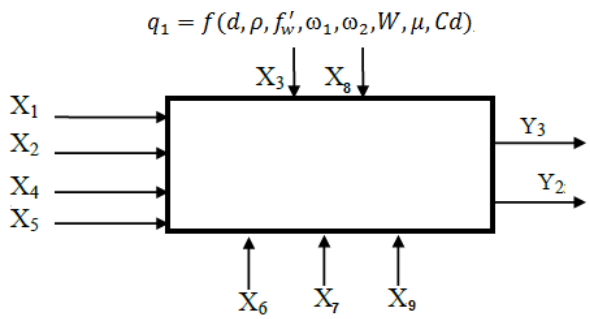


Рисунок 8 – Параметрична модель процесу витікання сипкого матеріалу:
μ − гранулометричний склад (розмір частинок) (0.02-0.04мк) (X1); $q1$− витрата подачі сипкого матеріалу (м3/с) (X2); Cd − коефіцієнт витікання (0,1-0,6) (X3); W − вологість сипкого матеріалу (4-6%) (X4); d − розмір випускного отвору бункера (0,08- 0,11 м) (X5); $\omega 1$− швидкість подачі сипкого матеріалу в бункер (рад/с) (X6); vuc − швидкість витікання сипкого матеріалу (0,03-0,4 м/с) (X7); ρ − щільність сипкого матеріалу (300-600 кг/м^3) (X8); fw' − коефіцієнт тертя (0,5-0,7) (X9); $q2$ − витрата сипкого матеріалу на виході із бункера, (м^3) (Y2); h − рівень сипкого матеріалу в бункері (0,2-1 м) (Y3)

Розмір діаметра випускного отвору бункера d, вологість W і щільність сипкого матеріалу ρ, а також коефіцієнт витікання Cd та коефіцієнт тертя fw' є основними властивостями при витіканні сипкого матеріалу з бункера стаканчикового дозатора в процесі дозування.

Процес витікання сипкого матеріалу залежить від фракційного складу, форми частинок, їх взаємодії про обмежувальну поверхню бункера об'ємного дозатора. Взаємодія частинок сипкого матеріалу в основному визначається здатністю їх переміщення та стійкого закінчення. Тому необхідно розглянути механізм їхньої взаємодії. Параметри, змінні при процесі витікання сипкого матеріалу, ускладнюють обчислення, щоб знайти адекватну модель, до якої вони відносяться [1].

При витікання сипкого матеріалу він може не витікати з отворів бункера об'ємного дозатора, що відбувається у тому випадку, коли над отвором утворюється склепіння з частинок сипкого матеріалу. Зводоутворення сипкого матеріалу пояснюється виникненням у зоні розвантажувального отвору такого напруженого стану, при якому горизонтальні напруги в шарі частинок сипкого матеріалу досягають найвищого значення. Горизонтальний тиск ущільнює сипкий матеріал, який створює відповідну вертикальну складову розпору склепіння, яка стає достатньою для сприйняття маси сипкого матеріалу над отвором бункера.

Істотний вплив на точність дозування надає витрата сипкої речовини при дозуванні. Стремління до підвищення продуктивності дозаторів, як правило, збільшує не тільки похибку дозування, але і її дисперсію. Тому актуальними стають дослідження, що дозволяють вирішувати компромісні завдання забезпечення точності дозування при підвищенні продуктивності дозатора.

Для досягнення найкращої якості дозування сипких продуктів необхідно дотримуватись параметрів технологічного процесу, що наведенні в таблиці 1.

Таблиця 1 – Параметри технологічного процесу дозування сипких продуктів

№ з/п	Параметр	Одиниці вимірювання	Значення	Відхилення
1	Рівень сипкого матеріалу в бункерах	м	3,6	±0,1
2	Швидкість дозатора	м/с	0,3	±0,1
3	Об’єм дозування сипкого матеріалу	$см^3$	30	±1
4	Швидкість приводу живильника бункера	м/с	0,3	±0,1
5	Температура зварювання шва пакета	°C	160-200	±20
6	Тиск зварювання шва пакета	мПа	0,3-0,7	±0,15
7	Ширина пакета	мм	90-140	±2
8	Вага наповнення пакета	гр.	200	±10

Висновки: Проведений аналіз технологічного процесу дозування сипких, що дозволить забезпечити потрібну точність дозування продукту.

Для забезпечення екологічності, якісної та високоефективної роботи системи дозування сипких продуктів потрібно:

1. провести аналіз технологічного процесу як об’єкта керування;
2. розробити функціональну схему автоматизованої системи керування;
3. прости вибір датчиків, виконавчих механізмів та контролера;
4. розробити принципову електричну схему під’єднання датчиків та виконавчих механізмів до контролера;
5. розробити програмне забезпечення для автоматизованої системи керування;
6. розробити щит керування автоматизованої системи;
7. провести розрахунки економічної ефективності впровадження автоматизованої системи керування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Williams, J.R. and O’Connor, R., Discrete Element Simulation and the Contact Problem, Archives of Computational Methods in Engineering, Vol. 6, 4, 279-304, 1999 (алгоритм контролю рівня сипкого матеріалу в бункері – для цукру))= (дата звернення: 09.10.2024).

УДК 681.5:631.544.4

О. О. Смолянкін, Ю. С. Повстяна, Л. М. Маркіна, В. О. Сацик
Луцький національний технічний університет
E-mail: smoljankin@gmail.com

РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ’ЄКТІВ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ: СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

У статті досліджено сучасні методи навчання нейронних мереж та їх застосування в системах розпізнавання об’єктів. Розглянуто три основні підходи до навчання: навчання з учителем (supervised learning), без учителя (unsupervised learning) та змішане навчання (з використанням радіально-базисних функцій). Проаналізовано переваги та недоліки кожного методу, їх

ефективність у різних задачах та умови застосування. Особливу увагу приділено алгоритмам оцінювання роботи нейронних мереж, зокрема використанню метрик точності, крос-валідації та методів зворотного розповсюдження помилки для оптимізації результатів.

Особливий акцент зроблено на застосуванні нейронних мереж для розпізнавання об’єктів. Вивчено, як сучасні технології глибокого навчання дозволяють значно покращити ефективність розпізнавання в умовах складних та динамічних середовищ. Нейронні мережі виявляються ефективними для вирішення завдань класифікації зображень, обробки відео та аудіо, а також для роботи з даними, які містять складні структури. Адаптація нейронних мереж до змінних умов середовища та забезпечення безпеки даних у системах розпізнавання є важливими аспектами практичного застосування цих технологій.

Ключові слова: нейронні мережі, розпізнавання об’єктів, навчання з учителем, навчання без учителя, радіально-базисні функції, адаптація нейронних мереж, класифікація зображень.

O. O. Smoliankin, Yu. S. Povstiana, L. M. Markina, V. O. Satsyk object recognition based on neural networks: modern challenges and development prospects

This article investigates modern methods of training neural networks and their application in object recognition systems. Three main approaches to training are considered: supervised learning, unsupervised learning, and hybrid learning (using radial basis functions). The advantages and disadvantages of each method are analyzed, as well as their effectiveness in various tasks and the conditions for their application. Special attention is given to algorithms for evaluating neural network performance, particularly the use of accuracy metrics, cross-validation, and backpropagation methods for optimizing results.

A special focus is placed on the application of neural networks for object recognition. The study examines how modern deep learning technologies can significantly improve recognition efficiency in complex and dynamic environments. Neural networks prove to be effective in solving tasks such as image classification, video and audio processing, as well as working with data containing complex structures. The adaptation of neural networks to changing environmental conditions and ensuring data security in recognition systems are important aspects of the practical application of these technologies.

Keywords: neural networks, object recognition, supervised learning, unsupervised learning, radial basis functions, neural network adaptation, image classification.

Проблема дослідження. Розпізнавання об'єктів за допомогою систем штучного інтелекту (ШІ) стає ключовою складовою автоматизованих рішень у різних галузях: промисловості, медицини, транспорту, безпеки та побуту. Сучасні методи глибокого навчання демонструють високі показники точності, однак вони стикаються з викликами динамічних умов середовища, великого обсягу даних та забезпечення конфіденційності.

Мета статті: Метою цієї статті є аналіз сучасних підходів до навчання нейронних мереж у задачах розпізнавання об’єктів, оцінка їх ефективності, переваг і недоліків, а також виявлення перспективних напрямків для їх удосконалення.

Об’єкт дослідження: процеси навчання нейронних мереж і їх адаптація для ефективного розпізнавання об’єктів у різних умовах.

Предмет дослідження: методи та алгоритми навчання нейронних мереж, зокрема supervised learning, unsupervised learning та змішане навчання, а також їх застосування для систем розпізнавання об’єктів..

Виклад основного матеріалу. Розпізнавання об'єктів є окремим випадком більш загальної проблеми розпізнавання образів, тому для його реалізації можна використовувати алгоритми, які широко застосовуються у сфері розпізнавання образів. Однак, на відміну від аналізу, наприклад, рукописного тексту, процес ідентифікації об'єктів потребує значно більше обчислювальних ресурсів. У випадку тексту його можна розділити на дрібні "кадри", кожен з яких містить одну літеру. Для такого завдання достатньо нейронної мережі розміром 30x15 пікселів або приблизно 450 вхідних нейронів. Розпізнавання об'єктів, навпаки, вимагає обробки всього зображення, що може складати мільйони пікселів (наприклад, для роздільної здатності 1980x1080 це 2,138,400 пікселів). Також кількість нейронів у прихованих шарах часто перевищує кількість вхідних нейронів, що додатково збільшує навантаження на обчислення.

Щоб спростити процес розпізнавання, застосовуються різні фільтри. Вони виконують обробку зображення швидше, ніж нейронні мережі, оскільки являють собою заздалегідь визначені алгоритми. Серед корисних фільтрів можна виділити підвищення контрастності, відсіювання певних кольорів (наприклад, неба), а також методи для виділення контурів, як-от фільтр Кувахара.

Фільтр Кувахара є цікавим прикладом. Його принцип роботи протилежний до фільтру Гауса: замість розмивання, він акцентує контури, що особливо корисно для аналізу об'єктів. У роботі цього фільтру використовується "вікно", яке ділиться на чотири квадранти. Для кожного квадранта обчислюються середнє значення інтенсивності та дисперсія. Центральний піксель отримує значення середньої інтенсивності того квадранта, де дисперсія найменша. Це дозволяє зменшити шум і чіткіше окреслити межі об'єктів.

Ще одним прийомом для оптимізації процесу розпізнавання є використання кадрів з попередніх моментів часу. Зберігання кількох попередніх кадрів у пам’яті та їх аналіз дозволяє враховувати динаміку руху об'єктів, особливо якщо вони переміщуються по кадру. Хоча це збільшує витрати пам'яті, загальна ефективність розпізнавання значно покращується, оскільки враховується рух об'єктів у просторі.

Для побудови нейронної мережі зазвичай застосовуються три основних підходи: згорткові нейронні мережі (CNN), рекурентні моделі та методи навчання з підкріпленням. Класична архітектура нейронної мережі являє собою граф з прямим розповсюдженням інформації та зворотним поширенням помилок. Вона характеризується надмірністю, через що обробка даних, поданих у вигляді двовимірних матриць, потребує значних ресурсів.

Згорткові нейронні мережі базуються на таких принципах, як локальне сприйняття (кожен нейрон обробляє лише частину вхідних даних), розділені ваги (використання невеликого набору вагових коефіцієнтів для всіх зв’язків) та субдискретизація (зменшення розмірності вхідних даних). Завдяки цим підходам мережа здатна зберігати топологічну структуру даних, виділяти важливі характеристики та зменшувати вплив шуму.

Рекурентні нейронні мережі (RNN) добре підходять для роботи з послідовними даними, такими як тексти або часові ряди. Вони здатні враховувати попередні стани та робити прогнози на основі минулого контексту. Однак вони можуть зіткнутися з труднощами, такими як швидке згасання або роздування градієнтів, що ускладнює їхнє навчання.

Навчання з підкріпленням дозволяє моделі адаптуватися до середовища через механізм нагород і штрафів. Цей метод знаходить застосування у завданнях, які вимагають прийняття рішень в реальному часі, наприклад, в іграх або робототехніці.

Висновки. У статті розглянуто основні підходи до навчання нейронних мереж і їх застосування для розпізнавання об’єктів. Проаналізовано переваги та недоліки кожного методу, а також виділено ключові напрями для їх вдосконалення.

Подальші дослідження зосереджуватимуться на:

1. Розробці гнучких моделей, здатних до самонавчання в реальному часі.
2. Оптимізації обчислювальних ресурсів для великих нейронних мереж.
3. Застосуванні новітніх методів захисту даних у системах розпізнавання.

Отримані результати можуть стати основою для створення високоточного інструментарію в області штучного інтелекту, здатного адаптуватися до змінних умов середовища та вимог сучасного ринку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Wang, J., & Zhang, H. Object Detection in 20 Years: A Review. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2020. 14 с.
2. Zou, Y., & Yu, H. Deep Learning for Object Detection: A Review. Neurocomputing, 2020. 50 с.
3. Ravichandran, A., & Dey, A. Hands-on Image Processing with Python: Implement practical image processing and computer vision techniques to create powerful image-processing applications. Packt Publishing, 2021. 400 p.
4. Gonzalez, R.C., & Woods, R.E. Digital Image Processing. Pearson, 2021. 800 p.
5. Redmon, J., & Farhadi, A. YOLOv5: The Next Generation of Object Detection. arXiv preprint, 2020. 20 c.Kence Anderson Designing Autonomous AI. A Guide for Machine Teaching. 1st Edition. O’Reilly. 2022. p.246.

СЕКЦІЯ «АВТОМАТИКА В ЕЛЕКТРОНІЦІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ»

УДК 004.8:621.396
А. В. Головницький
Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В АНАЛІЗІ РАДІОСИГНАЛІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗВ'ЯЗКУ

У цій статті проведено аналіз, розкрито суть та переваги використання штучного інтелекту в аналізі радіосигналів та за його допомогою покращення якості зв'язку в реальному часі, а також знижувати рівень перешкод і оптимізувати використання спектра.
Ключові слова: зв'зок, штучний інтелект, радіосигнал, оптимізація, перешкоди, аналіз.

Golovnitsky A.V. This article analyzes, reveals the essence, and highlights the advantages of using artificial intelligence in radio signal analysis to enhance real-time communication quality, reduce interference levels, and optimize spectrum utilization.
Keywords: communication, artificial intelligence, radio signal, optimization, interference, analysis.

Постановка проблеми. З розвитком технологій мобільного зв'язку та збільшенням кількості підключених пристроїв у мережах зростає потреба в забезпеченні стабільного, надійного та швидкого зв'язку.Однією з основних проблем є вплив різноманітних перешкод на якість сигналу, особливо в умовах густонаселених районів або високонавантажених мереж. Перешкоди можуть спричиняти значні спотворення сигналу, знижуючи якість зв'язку та стабільність передачі даних. Існуючі технології часто не здатні адекватно прогнозувати й усувати такі перешкоди в реальному часі, що призводить до погіршення користувацького досвіду.

Мета дослідження. Аналіз використання адаптивних методів на основі штучного інтелекту для аналізу радіосигналів, здатних в реальному часі покращувати якість передачі даних, знижувати рівень перешкод і оптимізувати використання спектра.

Виклад основного матеріалу. У сучасному світі телекомунікацій інтенсивний розвиток інформаційних технологій та зростаючий попит на якість зв'язку створюють потребу у нових підходах до аналізу радіосигналів. Одним із перспективних напрямків є використання штучного інтелекту (ШІ) для автоматизації обробки сигналів, підвищення точності діагностики перешкод та оптимізації передачі даних.

Зростання кількості мобільних пристроїв, розвитку мереж 5G і подальший перехід до 6G значно підвищили навантаження на телекомунікаційні системи. Одним із рішень є впровадження технологій штучного інтелекту, які дозволяють ефективніше обробляти сигнали та покращувати якість передачі даних.

Впровадження штучного інтелекту для аналізу та обробки радіосигналів має на меті створення динамічних, адаптивних методів, здатних самостійно навчатися та змінювати параметри роботи в реальному часі. Такі методи надають можливість підвищувати якість передачі даних, знижувати рівень перешкод та ефективніше використовувати спектр частот. Завдяки адаптивності, системи на основі ШІ можуть значно зменшити вплив зовнішніх факторів, таких як погодні умови, інтенсивність використання мережі або переміщення користувачів.

Глибинне навчання для аналізу складних моделей сигналу. Глибинне навчання, що працює з багатошаровими нейронними мережами, може бути корисним для розпізнавання складних структур сигналів та вирішення задач класифікації, наприклад, для виявлення типів перешкод.

1) Аналіз і класифікація перешкод у реальному часі

Один з головних недоліків для забезпечення якісного зв'язку – це вплив перешкод, які можуть виникати з різних причин, включаючи зовнішні чинники, а також конкуренцію за ресурси у багатокористувацьких мережах. Традиційні алгоритми виявлення перешкод мають обмежену ефективність, оскільки часто базуються на заздалегідь визначених параметрах. Однак методи штучного інтелекту здатні динамічно навчатися на основі даних, отриманих у реальному часі, і класифікувати перешкоди за їх типом та джерелом.

Застосування згорткових нейронних мереж (CNN). CNN дозволяють розпізнавати й класифікувати перешкоди, аналізуючи специфічні патерни у сигналі. Це підвищує точність виявлення конкретних джерел шуму або інтерференції, які можуть перешкоджати стабільності зв'язку [1]. CNN можуть працювати в умовах обмежених даних і швидко адаптуватися до нових типів перешкод, що є критично важливим у швидко змінних середовищах, таких як мобільні мережі.

Прогнозування перешкод за допомогою RNN. Recurrent Neural Networks (RNN) є ефективними для роботи з послідовними даними та можуть прогнозувати повторювані перешкоди на основі історичних даних. Це дозволяє телекомунікаційним операторам проактивно реагувати на можливі загрози якості сигналу та динамічно коригувати параметри передачі.

2) Оптимізація спектра частот за допомогою ШІ

Радіочастотний спектр є обмеженим ресурсом, і ефективне його використання стає пріоритетним завданням. В умовах зростаючої кількості підключених пристроїв і потреби у більш високій швидкості передачі даних виникає проблема перевантаження спектра. Методи ШІ можуть динамічно перерозподіляти частотні канали на основі поточного навантаження мережі.

Кластеризація та оптимізація частотного ресурсу. Алгоритми кластеризації на основі машинного навчання дозволяють розподіляти спектральні ресурси за принципом зниження ймовірності колізій між сигналами. Наприклад, алгоритми на основі методів кластеризації можуть аналізувати середовище та автоматично обирати найменш завантажені канали для передачі даних.

Глибинне підкріплювальне навчання. Цей підхід дозволяє створювати моделі, які навчаються на основі зворотного зв'язку та самостійно обирають оптимальні частотні канали. У телекомунікаційних мережах це забезпечує ефективний розподіл спектра, дозволяючи зменшити затримки передачі та підвищити пропускну здатність.

3) Адаптивна реконструкція сигналів у реальному часі

В умовах значної кількості перешкод, таких як інтерференція та шум, сигнали можуть зазнавати спотворень. Адаптивні методи ШІ дозволяють динамічно відновлювати сигнал, покращуючи його якість без затримок.

Autoencoders (автоенкодери) – нейронні мережі, які здатні відновлювати сигнали шляхом навчання на вхідних даних та їх реконструкції. Використання автоенкодерів допомагає відновлювати втрачений або спотворений сигнал навіть за умов значного рівня шуму.

Мета автоенкодера – отримати на вихідному шарі відгук, найбільш близький до вхідного. Таким чином, автоенкодери являють собою моделі навчання без вчителя, тобто не потрібна навчальна вибірка [4].

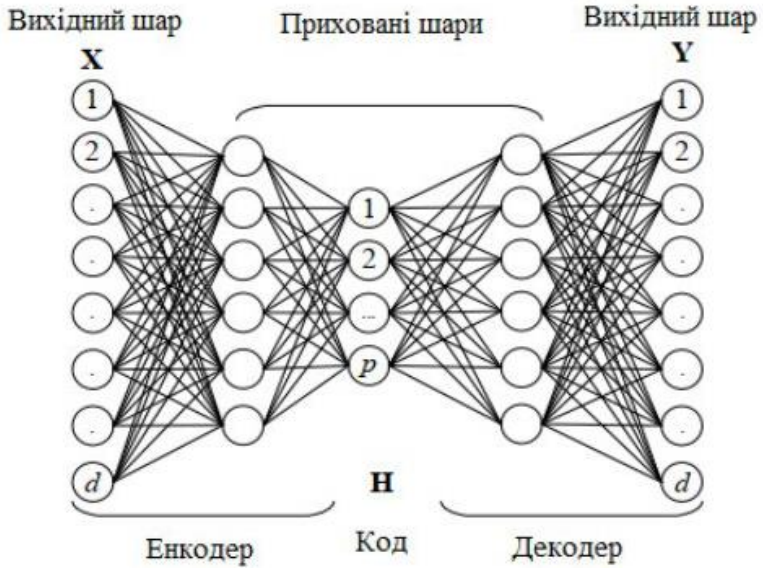


Рис. 1. – Архітектура автоенкодера

Generative Adversarial Networks (GAN). GAN можуть генерувати недостаючі частини сигналу, що дозволяє відновлювати сигнал у випадках значних втрат або спотворень. Використання GAN особливо актуальне для мереж, де втрата якості сигналу може критично впливати на зв'язок, як-от у телемедичних системах чи в автономних транспортних системах.

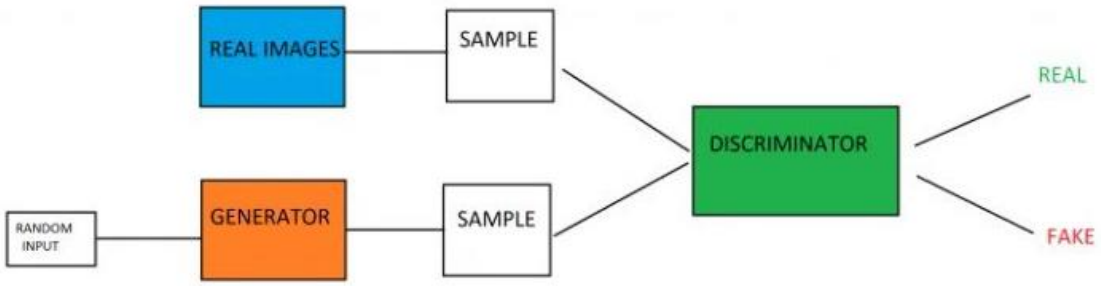


Рис. 2. – Архітектура Generative Adversarial Networks

4) Інтелектуальні системи самонавчання для покращення якості передачі даних

Інтелектуальні системи самонавчання — це програмно-апаратні комплекси, які використовують алгоритми машинного навчання (ML) для прийняття рішень щодо оптимізації параметрів мережі на основі зібраних даних про поточний стан мережі та історичних даних. Вони функціонують за принципом зворотного зв’язку: система отримує дані з мережі, аналізує їх, прогнозує можливі зміни та самостійно налаштовує параметри передачі, щоб уникнути проблем із якістю зв'язку [2].

Методи ШІ, що працюють за принципом самонавчання, можуть автоматично адаптувати параметри мережі до зміни умов у середовищі передачі даних.

Машинне навчання з підкріпленням. Такі системи здатні навчатися на основі зворотного зв’язку і обирати найоптимальніші параметри, наприклад, потужність сигналу, частотний діапазон та інші налаштування. Це дозволяє забезпечити стабільність зв’язку навіть у складних умовах, таких як високонавантажені зони чи зони з інтенсивною інтерференцією.

Автоматичне налаштування параметрів. Завдяки адаптивним алгоритмам системи можуть автоматично коригувати параметри передачі в реальному часі, що підвищує надійність зв’язку, знижує затримки та оптимізує використання ресурсів мережі.

5) Алгоритми адаптивного фільтрування для зниження шуму

Шум і інтерференція – це серйозна проблема для радіосигналів, особливо в умовах інтенсивного навантаження на мережу. Використання адаптивних алгоритмів на основі ШІ дозволяє динамічно підлаштовувати фільтри залежно від типу та інтенсивності шуму.

Адаптивні фільтри на основі ШІ. Ці фільтри можуть автоматично налаштовувати параметри на основі вхідних даних, забезпечуючи високу якість передачі сигналу навіть за умов змінного рівня шуму. Адаптивні фільтри допомагають знижувати шум без значного впливу на якість оригінального сигналу.

Адаптивні фільтри необхідно застосовувати якщо:

1) Характеристики і параметри фільтра повинні бути змінними і адаптуватись до змінних вхідних умов

2) Існують спектральні перекриття сигналу і шуму, які можуть змінювати свою величину

3) Смуга шумових сигналів є невідомою і нестабільною в часі

В перерахованих ситуаціях використання звичайних фільтрів привело би до звичайного спотворення корисного сигналу [3].

Нейронні мережі для шумозаглушення. Нейронні мережі можуть працювати як динамічні фільтри, що здатні самостійно підлаштовуватися до умов середовища й автоматично знижувати рівень шуму.

Переваги та недоліки впровадження адаптивних методів на основі ШІ

Адаптивні методи на основі штучного інтелекту значно покращують якість зв’язку, підвищують ефективність використання спектра, а також скорочують затримки передачі даних. Однак їх впровадження супроводжується кількома недоліками, серед яких:

Необхідність великих обсягів даних для навчання моделей, особливо для роботи в реальному часі.

1) Високі витрати на впровадження та підтримку ШІ-систем.

2) Кібербезпека, оскільки зростає ризик маніпуляцій із системами зв’язку.

Перспективні напрями досліджень

Зокрема, перспективними є дослідження у сфері покращення якості роботи ШІ в реальному часі, оптимізації роботи нейронних мереж для обробки сигналів та зменшення енергоспоживання. Подальший розвиток цих напрямків може зробити системи зв'язку більш адаптивними та надійними.

Висновки. Розробка адаптивних методів на основі ШІ є критично важливою для розвитку сучасних телекомунікаційних систем. Завдяки динамічній адаптації, такі методи забезпечують стабільну якість зв'язку, навіть в умовах значного навантаження, і дозволяють ефективніше використовувати обмежений спектр частот. Подальші дослідження спрямовані на вдосконалення таких методів, особливо в контексті роботи в реальному часі та зниження енергоспоживання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Згорткові нейронні мережі / М.І Підгорецький – Режим доступу до ресурсу: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/36766/1/Pidhorodetskyi_magistr.pdf
2. Штучний інтелект та інтелектуальні системи – Режим доступу до ресурсу: https://www.victoria.lviv.ua/library/students/sss2017/lecture.html
3. С. П. Новосядлий , Л. В Мельник, С. В. Новосядлий / Адаптивні фільтри в цифровій обробці сигналів сучасних телекомунікаційних систем – Режим доступу до ресурсу: https://cyberleninka.ru/article/n/adaptivni-filtri-v-tsifroviy-obrobtsi-signaliv-suchasnih-telekomunikatsiynih-sistem/viewer
4. Реалізація методу виявлення аномального трафіка мережі IoT – Режим доступу до ресурсу: https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/f91602dd-3915-49ac-a16e-69481c8c0c08/content

УДК 621.313
В.В. Лишук, к.т.н., Р.М. Калуш
Луцький національний технічний університет
v.lyshuk@lntu.edu.ua

ПЕРСПЕКТИВИ ПРОЕКТУВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ

У статті запропоновано огляд сучасної елементної бази перетворювачів електричних сигналів, що побудовані на ключових елементах, таких як тиристори. Проаналізовано особливості внутрішньої структури тиристорних ключів та схем керування побудованих на них. Визначено області застосування основних типів електронних ключів, їх переваги та недоліки в порівнянні з іншими.
Ключові слова: тиристор, електронний ключ, комутація.

V. Lyshuk, R. Kalush. Perspectives of converter design electric signals. The article offers an overview of the modern element base of electrical signal converters built on key elements such as thyristors. The peculiarities of the internal structure of thyristor switches and the control circuits built on them are analyzed. Areas of application of the main types of electronic keys, their advantages and disadvantages in comparison with others are determined.
Key words: thyristor, electronic key, switching.

Постановка проблеми. На сьогодні актуальним питанням є створення нових джерел живлення, побудованих на фазо-імпульсних технологіях перетворення сигналів. Багато електричних та електронних пристроїв потребують різних форм і величин напруг, пов'язаних зі специфікою їх роботи і застосування.

Впровадження в різноманітні області техніки електронних пристроїв стало можливим завдяки суттєвому поступу інформаційних технологій, зокрема мікроелектроніки. Основними показниками пристроїв електроніки є мінімізація втрат при перетворенні і керуванні електричними сигналами. З іншого боку при проектуванні, а також при роботі перетворювальних пристроїв можуть виникати небажані явища, такі як спотворення форми струмів чи напруг і наявність вищих гармонік у формі електричних сигналів. Це в свою чергу може порушити надійність та функціональність таких

пристроїв. Тому виникає задача у оптимальному виборі елементної бази з високими характеристиками.

Схеми на використанні таких напівпровідникових приладів дають змогу трансформувати електричні сигнали з потрібними формами та амплітудами, що можуть використовуватись при проектуванні перетворювальних пристроїв для потреб слабострумової мережі (побутове призначення) та силової мережі (промислове призначення). Від вибору елементної бази, а саме параметрів напруг, струмів і втрат потужності транзисторів, тиристорів та діодів, залежатиме спектр їх застосування.

Головним чинником, що визначає перспективність застосування цих елементів є їх здатність керувати на підвищених частотах при різних законах модуляції електричних сигналів чи імпульсів при мінімальних потужностях на керування. Але при цьому слід забезпечити електромагнітну сумісність електричних імпульсів з іншими приладами чи пристроями.

Основна частина. Вимоги до електричних параметрів визначаються видом перетворення електричної енергії та характеристиками первинного джерела електроживлення та навантаження. Відповідно прийнято розрізняти вимоги до вихідних та вхідних параметрів перетворювача.

При живленні перетворювача від джерела змінного струму аналізуються не тільки номінальні значення напруги та струму, число фаз та частота, а й якість електроенергії. У поняття останнього передусім включаються значення статичної та динамічної стабільності номінальних значень, коефіцієнт несинусоїдності напруги, тривалість і періодичність динамічних відхилень.

При формуванні вимог до електричних параметрів слід враховувати, що напівпровідникові прилади суттєво залежать від миттєвих значень струмів і напруг, що відповідають граничним нормованим значенням для кожного типу приладу. Збільшення короткочасних допустимих перевантажень або перенапруг зумовлюють необхідність збільшити кількість приладів за рахунок їх послідовного чи паралельного з’єднання або перейти до використання приладів більшої потужності.

Важливими параметрами перетворювачів постійного струму є значення величини частоти та пульсацій напруги. При співмірності потужностей джерела та перетворювача слід також обговорювати динамічні значення внутрішніх опорів джерела. Ці значення дозволяють оцінити вплив пульсацій вхідного струму перетворювача на напругу джерела, сплески та провали цієї напруги при комутації перетворювача, зокрема при змінах його навантаження.

Для перетворювачів, що виконують функції вторинних джерел живлення вимоги до вихідних параметрів аналогічні вимогам до вхідних параметрів. Різниця полягає в тому, що вхідні параметри вказуються як вихідні дані, вплив на які з боку перетворювача, як правило, мізерний, а вихідні параметри є результатом синтезу схемотехнічних рішень при його проектуванні. У цьому відношенні перетворювач володіє принципом зворотності. Для первинного джерела він є навантаженням, а для споживачів джерелом електроенергії відповідного виду та якості.

Під час розробки перетворювача як джерела електроенергії він повинен мати широкий діапазон регулювання вихідних електричних параметрів. Оскільки значення вихідних параметрів є номінальними, то можливість регулювання дає змогу врахувати конкретні технічні характеристики споживачів, зокрема спад напруги у провідниках.

Конструктивно-технічні вимоги визначаються умовами експлуатації. Сьогодні найбільш поширеним типом конструкції перетворювального електронного пристрою є збірна конструкція блочного типу. Тому одним з основних конструктивних вимог є вимога взаємозамінності складових частин пристроїв, таких як конструктивні елементи, вузли, компонування клем, блоки, інформаційні табло тощо). Також конструкція запроектованого електронного перетворювача повинна забезпечувати можливість контролю та діагностики електричних параметрів у процесі виробництва та експлуатації за допомогою вбудованих зовнішніх засобів контролю.

Як відомо вентильні перетворювачі побудовані на ключових елементах, таких як тиристори, транзистори, симістори. Вони є найбільш використовуваними в імпульсній та силовій електроніці та електротехніці. Розглянемо особливості їх роботи з точки зору застосування в керованих випрямлячах, регуляторах напруги постійного та змінного струму та інших перетворювачах.

Силовий електронний ключ служить для комутації електричних кіл і містить щонайменше один повністю керований прилад, наприклад транзистор або тиристор, тобто тут здійснюється керування потоком електричної енергії, а не потоком інформації [2, 3]. При ключовому способі прилад може перебувати тільки у ввімкненому (провідному) або вимкненому (непровідному) стані, при цьому час переходу з одного стану до іншого є мінімальним. На основі двох або більше вентильних приладів створюються двонапрямлені ключі, що проводять струм у двох напрямках, або

електронні ключі, здатні блокувати як пряму, так і напругу зворотну, тобто не проводити струм при прикладанні до них напруг протилежних полярностей. Згідно з визначенням, силові електронні ключі містять не менше одного керованого електронного приладу, наприклад транзистора або тиристора. Кожен вид цих приладів має різновиди, що істотно різняться за принципом дії.

В даний час крім звичайних, так званих «однооперацiйних» або традиційних, тиристорів створені тиристори, що замикаються (двооперацiйні). У цих приладах можна керувати моментом не тільки їх ввімкнення, а й вимкнення за допомогою сигналу керування .

Силовим напівпровідниковим приладом з односторонньою провідністю струму та з функціями керування моменту його вввімкнення в силовій електроніці є тиристор. Подачею додатньої напруги на сітку керування для переведення його у провідний стан [1, 4]. Тиристор є швидкодіючим електронним ключем для замикання електричного кола при подачі короткого імпульсу за наявності у ньому джерела напруги відповідної полярності (рис.1.1).

На анод тиристора подається невисока додатня напруга. Ділянка I на вольт-амперній характеристиці буде приблизно аналогічна зворотній вітці характеристики діода. Цей режим є закритим станом тиристора [5].

При збільшенні анодної напруги відбувається інжекція основних носіїв, тим самим відбувається накопичення електронів і дірок, що спричинює появу різниці потенціалів. Зі збільшенням струму через тиристор напруга на колекторному переході почне зменшуватися. І коли вона зменшиться до певного значення, тиристор переходить до стану від'ємного диференціального опору (ділянка III). Після цього всі три переходи змістяться в прямому напрямку, тим самим перевівши тиристор у відкритий стан (ділянка II).

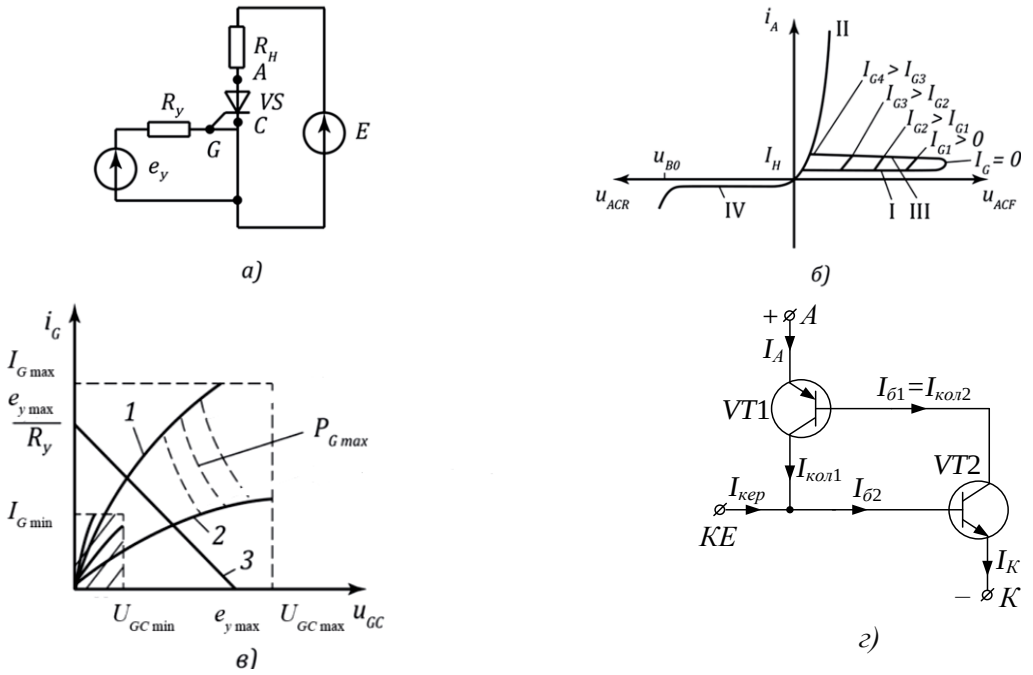


Рисунок 1.1 – Схема ввімкнення тиристора, вольт-амперна та статична характеристика, схема заміщення двома біполярними транзисторами

У відкритому стані тиристор буде доти, поки колекторний перехід буде зміщений у прямому напрямку. Якщо ж струм тиристора зменшити, то в результаті рекомбінації зменшиться кількість нерівноважних носіїв у базових областях і колекторний перехід буде зміщений у зворотному напрямку, а тиристор перейде у закритий стан.

При зворотному ввімкненні тиристора вольт-амперна характеристика буде такою ж як і у двох послідовно ввімкнених діодів, тобто він закритий (ділянка IV). Зворотна напруга обмежуватиметься при цьому напругою пробою.

На рис.1.1, в показано статичну характеристику – залежність струму керування на керуючому електроді від напруги переходу «керуючий електрод-катод. Для різних значень тривалості імпульсів вони показані у вигляді штрихових кривих.

Криві 1 та 2 відповідають відповідно максимальній допустимій робочій температурі кристалу напівпровідника тиристора. Ввімкнення тиристора відбувається при мінімальних значеннях струму

і напруги I_{Gmin} , U_{GCmin}. Обмеження по максимальному струму і напруги управління показано горизонтальною та вертикальною прямими.

Максимальна потужність керування імпульсом на електроді тиристора P_{Gmax} залежить від тривалості сигналів управління. Права штрихова крива відповідає імпульсам короткої тривалості, ліва – імпульсам довгої тривалості. Навантажувальна пряма 3 повинна знаходитися в цих межах.

Фазо-імпульсний спосіб дає змогу провести штучний зсув фаз між напругою живлення і напругою керування, тобто регулювання напруги з відстаючим кутом керування.

Висновки. У роботі проведено аналіз та області застосування силових напівпровідникових структур на прикладі тирсторних ключів. Обґрунтовано фізичні основи функціонування таких ключів, діапазон їх застосування, переваги та недоліки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Жуйков В.Я., Рогаль В.В., Будьонний О.В., Пілінський В.В. Енергетична електроніка. Електронний підручник. К. 2008.

2. Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами. Київ. 2010. 264 с.

3. Кириленко О.В., Жуйков В.Я., Денисюк С.П., Рибіна О.Б. Системи силової електроніки та методи їх аналізу. К.: Текст, 2006. 488 с.

4. Шавьолкін О.О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії: навч. посібник. Харків. 2015. 403 с.

5. Шавьолкін О. О. Енергетична електроніка: навч. посібник. Київ. 2017. 396 с.

УДК 614.842

С. А. Мороз, Р. С. Максимчук
Луцький національний технічний університет
E-mail: s.moroz@lntu.edu.ua

АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ ДЕТЕКТУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ ПОЛУМ'Я ЗА ДОПОМОГОЮ СЕНСОРІВ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

В даній роботі розглянуто фізичні принципи генерації випромінювання інфрачервоного випромінювання під час виникнення полум'я. Генероване випромінювання детектують інфрачервоні сповіщувачі, які в якості чутливих елементів використовують фоторезистори або фотодіоди. Вони працюють за принципом внутрішнього фотоефекту і змінюють електричні параметри в залежності від інтенсивності світлового потоку, що падає на них. Схеми обробки сигналу мають аналоговий характер.

Ключові слова: полум'я, спектр випромінювання, інфрачервоне випромінювання, сенсор.

S. Moroz, R. Maksymchuk. Analysis of the principles of flame detection using infrared radiation sensors. In this work, the physical principles of the generation of infrared radiation during the occurrence of a flame are considered. The generated radiation is detected by infrared detectors, which use photoresistors or photodiodes as sensitive elements. They work according to the principle of the internal photoeffect and change the electrical parameters depending on the intensity of the light flux falling on them. Signal processing circuits are analog in nature.

Keywords: flame, radiation spectrum, infrared radiation, sensor.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток елементної бази електроніки дає можливість проектувати та розробляти прогресивні електронні прилади та сенсори. Це стосується різних сфер життя людини. Зокрема виготовляється велике різноманіття давачів (сенсорів), які реагують на різні ознаки виникнення пожежі (дим, газ, інфрачервоне випромінювання полум'я тощо). Сигнал з первинних перетворювачів потрібно підсилити, провести фільтрацію та фіксування тих параметрів сигналу, які свідчать про настання пожежі.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо детальніше фізичні принципи генерації випромінювання інфрачервоного випромінювання під час виникнення полум'я. Спектр випромінювання полум'я в загальному випадку складається з ліній, смуг і суцільного фону.

Лінійний спектр зумовлений випромінюванням чи поглинанням світла вільними атомами внаслідок переходів електронів у яких, кожна лінія відповідає переходу з одного стану до іншого. Смугасті спектри в ультрафіолетовій (УФ) та видимій областях відповідають електронним переходам у молекулах. Ці переходи визначають місце системи смуг загалом.

Електронні переходи в молекулах супроводжуються одночасною зміною коливальної та обертальної енергій, внаслідок чого кожен електронний перехід у молекулі дає ряд смуг, що складаються з великої кількості близьких ліній, обумовлених зміною коливальної та обертальної енергій молекули. Зміни коливальної енергії молекули визначають місце окремих смуг у системі. Зміни обертальної енергії молекули визначають тонку структуру окремих смуг. Смугасті спектри в близькій ІЧ-області зумовлені лише зміною коливальної та обертальної енергій молекул, а спектри в далекій ІЧ-області спричинені змінами лише обертальної енергії.

Процеси, що призводять до появи ліній та смуг у спектрах випромінювання полум'я, описуються рівнянням, що випливає із закону збереження енергії:

$$E_{A^*} = E_A + h\nu \ . \qquad (1.1)$$

де $h\nu$ – квант світла частоти, що випромінюється при однофотонному переході деякої системи (атома, молекули, іона) зі збудженого стану A^* в основний стан A;

E_A – енергія переважно стану.

Якщо взаємодія між молекулами стає досить сильною, як у випадку стиснутих газів, рідини або твердого тіла, лінії випромінювання і поглинання розширюються і в результаті зливаються в суцільний спектр. У деяких випадках поява в спектрі ділянок безперервного випромінювання може бути викликана такими процесами, як рекомбінації іонів, асоціації атомів або радикалів [1, 2].

За видами спектрів полум'я можна поділити на три типи: полум'я з переважаючим суцільним спектром; полум'я з переважаючим лінійним і смугастим спектром; полум'я зі змішаним лінійним, смугастим та суцільним спектром.

Полум'я з переважним суцільним спектром, зазвичай, має білий колір або слабко виражені колірні відтінки. Оскільки енергія такого полум'я випромінюється в широких ділянках спектру, то з їх допомогою вдається отримувати джерела випромінювання, які генерують найбільшу кількість енергії на одиницю маси палива, що спалюється. Полум'я цього типу використовують, наприклад, в освітлювальних та фотоосвітлювальних засобах, а також як джерела випромінювання в ІЧ-області спектру. Полум'я другого типу можуть бути безбарвними (тобто практично не випромінюють у видимій області спектру) і з відтінками кольорів. Кольорові полум'я використовуються в сигнальних та трасуючих засобах. Полум'я другого типу, як правило, випромінюють значно меншу кількість енергії на одиницю маси палива, що спалюється, ніж полум'я першого і третього типів.

Полум'я третього типу мають зазвичай яскраво виражені відтінки кольорів і використовуються в освітлювальних і трасуючих засобах, а також як джерела випромінювання в ІЧ-області спектру. По енергії, що випромінюється полум'ям, полум'я цього типу займають проміжне положення між полум'ями першого та другого типу.

Слід зазначити, що поділ полум'я на три типи можливий для конкретного діапазону довжин хвиль випромінюваного спектру, так як одне і те ж полум'я може бути віднесено, наприклад, першого типу в одному спектральному діапазоні і до іншого типу в іншому спектральному діапазоні. Це пов'язано з тим, що співвідношення між лінійчастим, смугастим і суцільним ділянками спектру може бути різне в різних областях спектру.

Зазвичай ІЧ-сповіщувачі мають у своєму складі оптичні лінзи з вбудованим смуговим фільтром на довжину хвилі 4,3 мкм, що робить ІЧ-давач нечутливим до сонячного засвітлення. Сучасні технології з електронною фільтрацією сигналів дозволили розробити багатоканальні інфрачервоні сповіщувачі полум'я та забезпечити подальше скорочення помилкових тривог під час роботи в реальних умовах. Необхідно відзначити, що деякі інфрачервоні давачі налаштовуються на довжину хвилі 2,9 мкм, яка відповідає смузі випромінювання водяної пари H_20. Це дає можливість виявляти вогнища, що складаються з не вуглеводневих матеріалів.

Більшість давачів полум'я є оптичними, електронними сенсорами, які налаштовані для виявлення УФ та/або ІЧ-випромінювання, які знаходяться поза видимим сонячним спектром. Необхідно відзначити подібність між УФ та ІЧ-сповіщувачами за декількома характеристиками:

– вони є пристроями, що працюють у зоні прямої видимості. Типова зона виявлення сенсора представляється у вигляді конуса, з кутами огляду ± 45° щодо оптичної осі;

– випромінювання передається зі швидкістю світла, отже, сповіщувачі полум'я є пристроями швидкого виявлення відкритих вогнищ пожежі. Сповіщувачі налаштовані на вибрані

лінії довжин хвиль випромінювання;

– оптична система зі смуговим фільтром забезпечує прийом випромінювання сповіщувачем лише у вибраній вузькій смузі частот;

– потужність прийнятого випромінювання (*PR*) пропорційна площі осередку (*S*) і обернено пропорційна відстані (*D*) до осередку полум'я в квадраті:

$$PR = \frac{S}{D^2}. \quad (1)$$

Таким чином, якщо чутливість сенсора забезпечує виявлення випромінювання вогнища площею 0,1 м^2 на відстані 20 м, то при збільшенні відстані в 2 рази, до 40 м, такий же рівень випромінювання прийматиметься при збільшенні площі вогнища в 4 рази, до 0,4 м^2.

Насправді більшість сповіщувачів полум`я виявляють модульовані за рівнем випромінювання сигнали в обмеженому діапазоні частот, зазвичай від 1 до 20 Гц. Отже, залежність дальності виявлення від площі вогнища не точно відповідатиме наведеному рівнянню.

Фактична дальність виявлення вогнища залежить від чутливості сповіщувача та алгоритмів обробки інформації та в широких межах варіюється в залежності від використаних виробником технологій.

Інфрачервоні сповіщувачі в якості чутливих елементів використовують фоторезистори або фотодіоди. Вони працюють за принципом внутрішнього фотоефекту і змінюють електричні параметри в залежності від інтенсивності світлового потоку, що падає на них. Схеми обробки сигналу мають аналоговий характер. Їхня перешкодозахищеність від сторонніх джерел світла здійснюється декількома способами: зміною чутливості, оптичною фільтрацією, а також електричною фільтрацією. Якщо в приміщенні, що захищається, існує постійне фонове освітлення, доцільно використовувати метод зниження чутливості сповіщувача полум'я. Межею зниження чутливості служить виявна здатність сповіщувача. У паспорті пожежних сповіщувачів полум'я є вимоги до максимально допустимого тла. Оптичну фільтрацію здійснюють побудовою спектральної характеристики сповіщувача таким чином, щоб в область його чутливості потрапляв діапазон випромінювання полум'я і не потрапляло б випромінювання сторонніх джерел світла. Для цього використовують оптичні коректуючі фільтри. На рисунку 1 зображена схема, що пояснює забезпечення перешкодозахищеності сповіщувачів зниженням чутливості та застосуванням оптичної фільтрації, яка ґрунтується на принципі виділення змінної складової випромінювання полум'я. Відомо, що полум'я має пульсацію інтенсивності випромінювання діапазоні частот 50 Гц. Конкретні частоти залежать від умов горіння та виду палаючої речовини. Інтенсивність змінної складової близько 30-40% повної інтенсивності, що знижує можливість виявлення пожежі.

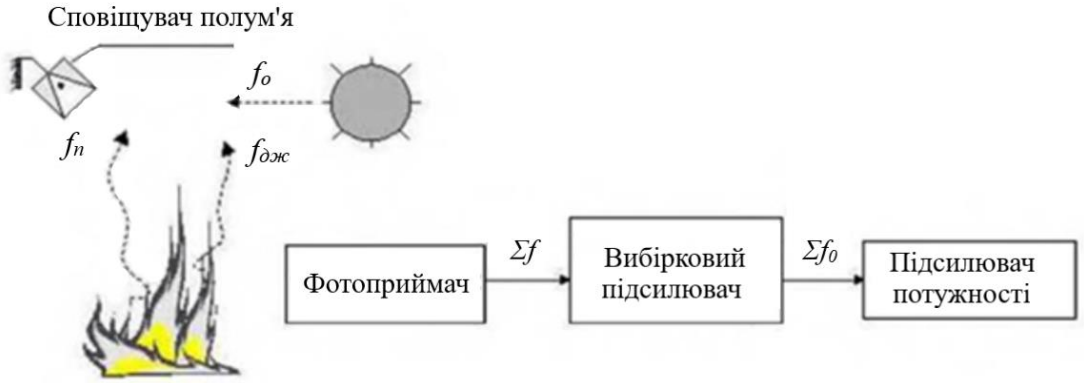


Рисунок 1 – Принцип електричної фільтрації: f_n – частота випромінювання пожежі; $f_{дж}$ – частота джерела світла; f_o – частота природного освітлення [3]

В електронній схемі обробки сигналів використовується вибірковий підсилювач. Захист від імпульсних світлових перешкод може бути забезпечений запровадженням тимчасової затримки спрацьовування сповіщувача. Сповіщувачі полум'я мають високу швидкодію, тому їх доцільно застосовувати в тих технологічних процесах, де пожежа розвивається швидко.

Як уже зазначалося раніше, горіння вуглеводнів формує характерний спектр випромінювання, який показаний на рисунку 2.

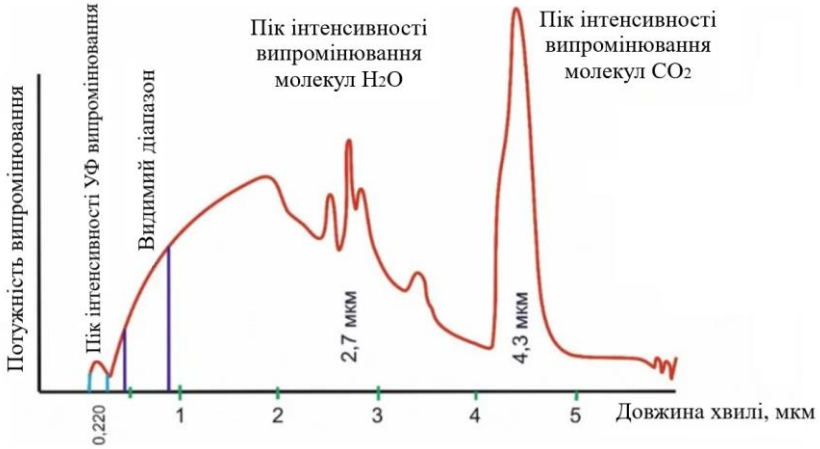


Рисунок 2 – Залежність потужності випромінювання від довжини хвилі [1]

Два основні максимуми присутні на довжині хвилі 2,7 мкм (випромінювання водяної пари H_20) та на 4,3 мкм (випромінювання $C0_2$). Безвуглеводневі вогнища, наприклад, металеві, не виділяють вуглекислий газ у процесі згоряння. Для виявлення таких пожеж краще підходять ІЧ-сповіщувачі полум'я, що працюють на довжині хвилі 2,7 мкм.

На рисунку 3 наведені спектри випромінювання полум'я різних матеріалів.

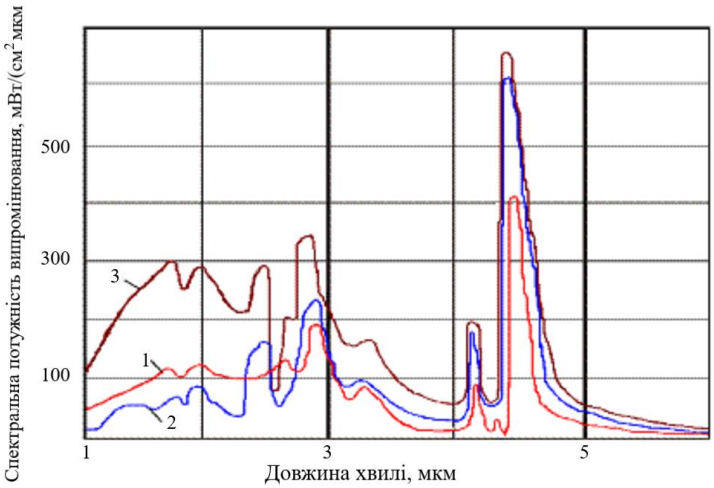


Рисунок 3 – Спектр випромінювання полум'я деревини (1), спирту (2) та суміші спирту з бензолом (3) [3-6]

Висновки. Ефективність ІЧ-виявлення значно підвищується щодо наявності мерехтіння полум'я, що спостерігається при розвитку вогнищ. Більшість одноканальних сповіщувачів полум'я визначає наявність полум'я за мерехтінням випромінювання в діапазоні частот від 1 Гц до 20 Гц. Визначення мерехтіння полум'я дозволяє знизити вірогідність помилкової тривоги ІЧ-сповіщувачів полум'я у присутності нагрітих предметів – випромінювання «чорного тіла». Хоча ідентифікація мерехтіння має важливе значення для інфрачервоного сповіщувача полум'я, але цього недостатньо щоб повністю виключити помилкові тривоги.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вуйцік В.В., Готра З. Ю., Григор'єв В. В., Каліта В М., Мельник О. М. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: Науково-навчальне видання в 3-х томах. Львів: Ліга-Прес. 2020.
2. Сповіщувачі датчики полум'я. URL: https://fire-stop.com.ua/ua/alarm/flame-detectors/ (дата звернення: 10.11.2024).
3. Датчики полум'я. URL: https://elektron.kiev.ua/ua/g9206137-datchiki-plameni (дата звернення: 08.11.2024).
4. Що таке датчик полум'я? Вичерпний посібник із виявлення пожежі. URL: https://uk.winsen-sensor.com/knowledge/what-is-a-flame-sensor.html?searchid=4891 (дата звернення: 08.11.2024).

5. Системи пожежної та охоронної сигналізації. URL: http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/297/Signal.pdf (дата звернення: 11.11.2024).

6. Випромінювальні властивості полум'я. URL: https://stud.com.ua/35510/tovaroznavstvo/viprominyuvalni_vlastivosti_plamen (дата звернення: 10.11.2024).

УДК 621.396:621.382

Й.Р. Селепина, В.В. Стасюк, І.Є. Долинський.
Луцький національний технічний університет
E-mail: y.selepyna@lntu.edu.ua

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗАТУХАННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ РЕЖЕКТОРНИХ ФІЛЬТРІВ ПРИЙОМО-ПЕРЕДАЮЧИХ КОМПЛЕКСІВ НИЗЬКООРБІТАЛЬНОГО СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ НА ЇХ ДАЛЬНІСТЬ ДІЇ

В даній роботі розглянуто особливості використання режекторних фільтрів у прийомо-передавальних комплексах низькоорбітальних супутникових систем зв’язку (LEO). Основна увага приділена їхній ролі у забезпеченні якості сигналу та зменшенні впливу перешкод. Проаналізовано функціональні вимоги до таких фільтрів та наведено ключові технічні рішення, що сприяють підвищенню надійності зв’язку і розширенню його дальності.

Ключові слова: режекторні фільтри, супутниковий зв'язок, широкосмугові комунікації, дальність дії.

V.V. Stasiuk, I.Y. Dolynskyi, Y.R. Selepyna. Evaluation of the impact of attenuation in broadband notch filters in low earth orbit satellite communication transmission-reception complexes on their range. The article is dedicated to the features of using notch filters in the transceiver complexes of low Earth orbit (LEO) satellite communication systems are considered. The focus is on their role in ensuring signal quality and reducing interference. The functional requirements for such filters are analyzed, and key technical solutions that contribute to improving communication reliability and extending its range are presented.

Keywords: notch filters, satellite communication, broadband communications, range extension.

Постановка проблеми. З моменту свого створення супутникові комунікаційні системи (SatComs) знайшли безліч застосувань для розв’язання приватних та комерційних завдань. Сьогодні, разом з еволюцією конвергентних мереж нового покоління, SatComs проходять етап трансформації, переорієнтовуючи дизайн системи на широкосмугові послуги. Основною мотивацією є а) швидке впровадження потокового медіа замість лінійного медіа-мовлення та б) нагальна потреба розширити покриття широкосмугового зв’язку на недостатньо обслуговувані райони (наприклад, країни, що розвиваються, повітряні/морські, сільські райони). Крім того, важливою віхою нового покоління систем зв’язку є інтеграція та конвергенція різноманітних дротових і бездротових технологій. Особливої уваги набуває поширення приватних супутникових послуг та створення супутникових персональних комунікаційних мереж (S-PCN) та супутникових IoT (S-IoT) мереж [1]. Таким чином забезпечує універсальний доступ до широкого спектру послуг і транснаціональних мереж зв'язку.

Розробка таких систем стикається з багатьма проблемами, зокрема пов’язаними з удосконаленням терміналів користувачів, космічним сегментом, нормативними проблемами, а також технічними проблемами, включаючи рознесення каналів, розподілу трафіку, покращення якості передавання інформації, тощо. Особливості супутникового зв’язку, такі як велика дальність та значний вплив шумів та перешкод на роботу системних терміналів впливає на сумісні можливості роботи рухомого супутника та мобільного користувача. Сигнали приймачів-передавачів більшості наземних мобільних станцій мають ідеальну кругову поляризацію та ізотропну природу з одним елементом антени з низьким коефіцієнтом посилення. Однак ці одноелементні пристрої особливо чутливі до шумових перешкод, оскільки вони отримують сигнали з усіх боків.

Покращення характеристик фільтруючих систем є підходом, придатним для боротьби з проблемою зменшення впливу перешкод та покращення якості передавання сигналів. Особливої

уваги вимагають перешкоди на голосових каналах, що викликаються перехресними перешкодами від інших пристроїв та мереж; наприклад у випадку, коли абонент чує перешкоди у фоновому режимі.

Метою дослідження є оцінка впливу затухання широкосмугових режекторних фільтрів у прийомо-передавальних комплексах низькоорбітальних супутникових систем зв'язку на покращення якості сигналу та збільшення дальності зв’язку.

Основний матеріал дослідження. Приймальні пристрої супутникового зв'язку, що функціонують у низькоорбітальних системах (LEO), відіграють ключову роль у забезпеченні неперервного зв’язку, передачі даних та моніторингу в різних галузях, таких як IoT, геолокація, і спостереження. Вони вирішують широке коло задач, від прийому сигналів від користувачів до обробки і передачі інформації в реальному часі. Основні напрями розвитку приймальних пристроїв для LEO-супутників насьогодні наступні [1]:

1. Підвищення надійності зв’язку. Для забезпечення стійкого зв’язку приймачі супутникових LEO-систем орієнтовані на використання адаптивних антен та технологій багатопроменевої антени. Це сприяє точнішому спрямуванню сигналу та підвищенню ймовірності виявлення сигналів користувачів.

2. Збільшення чутливості та мінімізація шумів. Приймальні пристрої для LEO систем прагнуть до досягнення високої чутливості за рахунок застосування малошумних підсилювачів і поліпшених схем прийому. Це дозволяє збільшити дальність прийому до кількох тисяч кілометрів, навіть при слабких сигналах від земних користувачів.

3. Розширення частотного діапазону. Приймальні пристрої низькоорбітальних супутників орієнтовані на роботу в широкому частотному діапазоні, що дозволяє обслуговувати різні сервіси одночасно. Сучасні приймачі для LEO можуть охоплювати діапазони від 10 до 50 000 МГц, що забезпечує високу пропускну здатність і можливість обробки великого обсягу інформації.

4. Покращення обробки сигналів у реальному часі. Приймальні пристрої LEO супутників підтримують високу швидкість обробки даних, забезпечуючи передачу інформації у режимі реального часу. Використання новітніх цифрових систем обробки даних дозволяє знизити затримки і підвищити точність передачі інформації до кінцевих користувачів.

5. Висока точність позиціювання та пеленгування. Застосування фазових методів визначення напрямку дозволяє покращити точність пеленгування і координатування сигналів від користувачів. Це особливо важливо для навігаційних застосувань та моніторингових систем.

6. Компактність і зменшення ваги пристроїв. Для ефективної роботи в умовах обмеженого простору на борту LEO-супутників приймальні пристрої створюються на базі інтегральних планарних технологій, що сприяє зменшенню ваги і розмірів.

Слід відзначити, що оскільки системи супутникового зв'язку працюють здебільшого в верхніх діапазонах мікрохвиль і міліметрових хвиль (для забезпечення високої пропускної здатності), то використання таких високих частот створює додаткові технічні труднощі, зокрема створення і налаштування систем перетворення частот, де в діапазоні супутникового зв'язку відбуваються складні процеси обробки сигналу [2]. На високих частотах супутникових систем, одноступеневе перетворення частоти часто є недосяжним, оскільки технічні обмеження змішувачів (міксерів) і локальних осциляторів (генераторів опорної частоти) призводять до значної деградації сигналу при високих коефіцієнтах перетворення.

Для передачі без втрат високочастотні сигнали потребують кількох ступенів перетворення і при цьому кожен ступінь частотного перетворення потребує наявності певних елементів (рисунок 1): фільтри для вибіркового послаблення або посилення частот Ф; локальні осцилятори ЛО для зміщення частоти; міксери для перетворення частоти; підсилювачі для компенсації втрат сигналу на кожному етапі (МПШ – малошумний підсилювач; ППЧ – підсилювач проміжної частоти), тощо.

Режекторні широкосмугові фільтри тут відіграють особливу роль, оскільки вони забезпечують блокування небажаних частотних компонентів, які можуть створювати завади в інших системах або на сусідніх частотах.

Забезпечення ефективності та якості прийому і передачі сигналів для LEO супутників значною мірою залежить від їхньої здатності підтримувати оптимальні параметри фільтрації сигналів і протидіяти радіочастотним завадам. Режекторні широкосмугові фільтри для придушення радіочастотних завад у супутникових системах зв'язку є невід’ємною частиною приймально-передавального обладнання і забезпечують його ефективну роботу в умовах зовнішніх завад [3]. Більшість режекторних фільтрів складається з резонаторів, налаштованих на відсікання певних

частот або частотних діапазонів не перешкоджаючи роботі корисного сигналу. Це можуть бути коаксіальні резонатори, діелектричні резонатори або резонатори на мікрохвильових смугах.

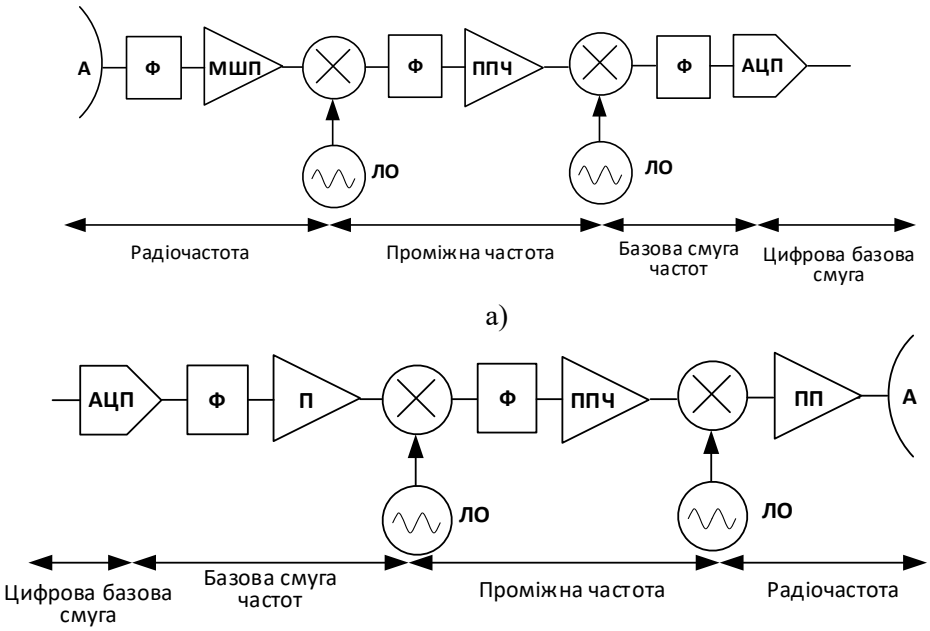


Рисунок 1 – Еквівалентне коло передачі сигналу в супутниковому зв'язку за допомогою гетеродинної/супергетеродинної передачі: а) від радіочастоти до базової смуги; а) від базової смуги до радіочастоти

Режекторний фільтр пропускає корисний сигнал, блокуючи при цьому радіочастотні завади в значній частині спектру завад, забезпечуючи більшу гнучкість у складних умовах роботи з високим рівнем інтерференцій. Типові фільтри повинні мати загасання поза смугою пропускання не менше 40 дБ, щоб забезпечити ефективне придушення сторонніх сигналів та перешкод. Крім цього, оптимізація коефіцієнтів передачі та налаштування частотної характеристики фільтрів – основні технічні виклики у цьому аспекті. Це особливо актуально для супутників на LEO-орбітах, де сигнали від інших супутників та наземних станцій можуть викликати значний рівень інтерференції з огляду на передавання даних на великі відстані.

Дальність дії приймальних станцій радіозв'язку визначають за формулою:

$$D_p = \frac{\lambda}{2\pi}\sqrt{\frac{P_\Sigma G G_p \gamma \psi}{q P_{p\min}}} F(\Theta,\alpha), \qquad (1)$$

де λ – довжина хвилі випромінювання; P_Σ, G – сумарна потужність і коефіцієнт спрямованої дії (КСД) випромінювання передавальної антени; γ – параметр поляризації (приймають $\gamma = 0,5$); G_p – коефіцієнт напрямленої дії приймача; $F(\Theta,\alpha)$ – залежність, що відповідає діаграмі спрямованості антени ССЗ, при $F(\Theta,\alpha)=1$ - дальність дії є максимальною; q – коефіцієнт індикації, $q = 3...10$; $P_{p\min}$ – чутливість приймача; $\psi = (1-\Gamma^2)\eta_ф$, де Γ – коефіцієнт відбиття, $\eta_ф$ – коефіцієнт корисної дії фідера, $\eta_ф = 0,7...0,9$.

Максимальна дальність дії $D_{рмакс}$, визначається як максимальна відстань, на якій радіоприймальна станція здатна прийняти сигнал із достатньою якістю для супутникових систем і є ключовим параметром для оцінки ефективності передачі даних на великі відстані і дозволяє порівнювати якість радіоприймального обладнання.

Розглянемо дві станції, з відповідними параметрами сумарного згасання (втрати в смузі пропускання) фільтрів ΔL_1 і ΔL_2, що визначаються як відношення максимальної потужності до

потужності на виході в пасивному компоненті системи і зазвичай залежить від властивостей матеріалів та конструкції фільтра:

$$\Delta L = 10\lg(P_m / P_н), \tag{2}$$

де P_m – максимальна потужність джерела, $P_н$ – потужність, що надходить у навантаження і повинна бути достатньою для надійного прийому.

Отримаємо і проаналізуємо відношення їх параметрів відносно дальності дії:

$$K = \frac{D^{(н)}_{рмакс}}{D_{рмакс}} = \sqrt{\frac{P_{p\min}}{P^{(н)}_{p\min}}} = 10^{\frac{\Delta L_1 - \Delta L_2}{20}}, \tag{3}$$

Отримані відношення представлені на рисунку 2.

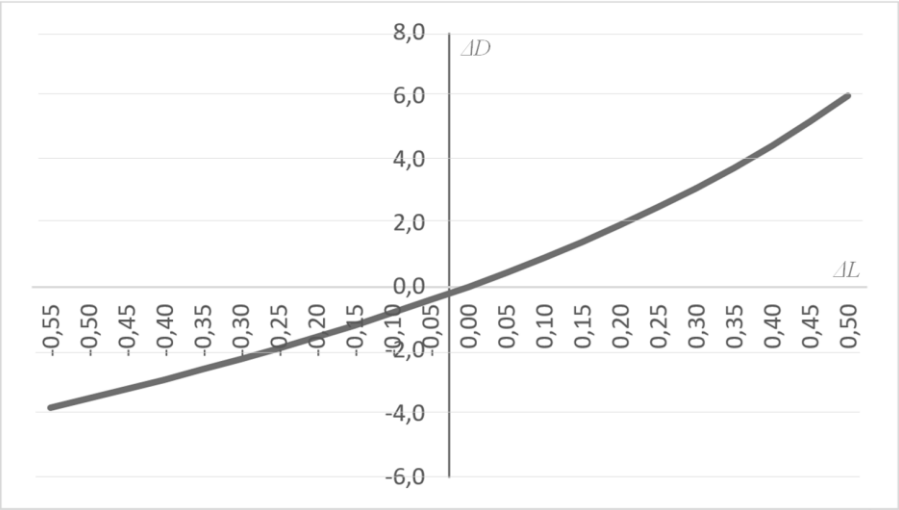


Рисунок 2 – Залежність виграшу по максимальній дальності дії прийомних пристроїв від різниці сумарних затухань в смузі пропускання

Для фільтрів високої якості типовими вказуються показники затухання в межах до 1,5 дБ, залежно від специфікації та частотного діапазону.

Міжнародні регулятори, зокрема Європейський інститут телекомунікаційних стандартів (ETSI), що розробляє норми для комерційних супутникових систем, зазначає перелік вимог, що включають допустимі відхилення потужності сигналу і дальності дії, щоб забезпечити мінімальні втрати сигналу навіть при несприятливих умовах.

Зокрема, Комітет Satellite Earth Stations and Systems (SES) [4] займається розробкою стандартів для супутникових систем зв’язку, а саме для різних типів наземних станцій та обладнання, зокрема для фіксованих і мобільних станцій зв’язку, навігаційних систем, а також систем для передачі даних в умовах руху (на літаках, суднах, автомобілях). Одним із ключових стандартів є EN 303 980, що регулює вимоги до станцій, які працюють з негеостаціонарними супутниками в Ku-діапазоні (11–14 ГГц). І вказує, що для більшості супутникових систем зв’язку допустиме відхилення може складати ±5-10% від розрахованої дальності дії, що дозволяє підтримувати стабільний зв’язок у випадку незначних змін у параметрах сигналу або погодних умовах. Визначимо відхилення ΔL затухання фільтра для цього діапазону гідно формули (3), результати в таблиці 1.

Таблиця 1

Залежність відхилення дальності дії прийомо-передаючих комплексів низькоорбітального супутникового зв'язку від затухання фільтруючих компонентів схеми

ΔD	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
ΔL	0	0,0872	0,1754	0,2645	0,3545	0,4455	0,5374	0,6303	0,7242	0,8191	0,9151

З отриманих даних, бачимо, що для відхилення дальності прийому в межах 5% затухання фільтра не повинне перевищувати 0,4455 дБ, що забезпечить високий коефіцієнт передачі сигналу. Традиційно для проектування широкосмугових фільтрів застосовувався загальний операційний механізм, тобто каскадування фільтрів низьких частот або фільтрів високих частот із використанням декількох лінійних резонаторів довжиною чверть напівхвилі або повної довжини хвилі з центральною частотою, але використання при використанні цих підходів, технологія проектування стає дорогою та складною. Вищезазначені проблеми можна подолати за допомогою планарної мікросмужкової структури лінії передачі через її просту процедуру виготовлення та низьку вартість.

В [5] розроблено широкосмуговий фільтр із можливістю приглушення частот на кількох рівнях (4.9 ГГц, 8.3 ГГц і 11.5 ГГц) з використанням резонатора з короткозамкненим Т-подібним штирем, до якого приєднано центральне квадратне кільце. Спочатку С-подібний резонатор створює частоту придушення на 8.3 ГГц для систем супутникового зв’язку, після чого додається короткозамкнене квадратне кільце для забезпечення придушення на частотах 4.9 ГГц та 11.5 ГГц, що робить його придатним для застосування в системах 5G (WLAN 802.11j). У результаті вдалося досягти таких характеристик, як компактність, простота планарної топології, низькі додаткові втрати (0.4 дБ), високий коефіцієнт відбиття (більше 10 дБ) та незалежно керовані смуги загородження, що робить цей фільтр універсальним для використання в різних системах бездротового зв’язку.

Подальше вивчення мікросмужкових технологій [6, 7], може значно сприяти зниженню виробничих витрат та забезпечити простоту виготовлення компактних, легких, але водночас потужних фільтруючих елементів, що є ключовим фактором для масового впровадження. Дослідження в галузі розробки багаточастотних фільтрів також можуть забезпечити більш гнучкі варіанти для одночасної обробки різних сигналів у багатоканальних системах.

Висновки. Використання широкосмугових режекторних фільтрів значно підвищує ефективність супутникових систем зв’язку, покращуючи дальність дії та якість прийому сигналів. Розробка таких фільтрів сприяє зменшенню впливу зовнішніх перешкод, що є критичним для надійного функціонування низькоорбітальних супутників. Оцінка впливу загасання фільтрів на дальність дії демонструє якісний вплив зменшення затухання фільтруючих систем на збільшення максимальної дальності дії та відкриває перспективи для подальшого вдосконалення супутникових комунікаційних технологій, особливо для систем, що обслуговують віддалені та важкодоступні регіони.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kodheli O. et al. Satellite Communications in the New Space Era: A Survey and Future Challenges. IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 23, no. 1, pp. 70-109, Firstquarter 2021, DOI: https://doi.org/10.1109/COMST.2020.3028247.

2. Anderson K. Digitization of Satellite RF Systems. APITech Insights. 2020. https://www.microwavejournal.com/blogs/28-apitech-insights/post/34953-digitization-of-satellite-rf-systems.

3. Iwasokun S., Kolawole M. Interference Mitigation in Satellite Personal Communication Networks Using Adaptive Antenna Arrays and Filtering Technique. Wireless Engineering and Technology, vol. 1, no. 2, 2010, pp. 88-91. DOI: https://doi.org/10.4236/wet.2010.12013.

4. Technical Committee (TC) Satellite Earth Stations and Systems (SES). https://www.etsi.org/committee/1412-ses.

5. Zhang G., Basit A., Khan M., Daraz A., Saqib N., Zubir F. Multi Frequency Controllable In-Band Suppressions in a Broad Bandwidth Microstrip Filter Design for 5G Wi-Fi and Satellite Communication Systems Utilizing a Quad-Mode Stub-Loaded Resonator. Micromachines. 14. 866. 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/mi14040866.

6. Haq T., Koziel S., Pietrenko-Dabrowska A. Resonator-Loaded Waveguide Notch Filters with Broad Tuning Range and Additive-Manufacturing-Based Operating Frequency Adjustment Procedure. Electronics 2023, 12, 4486. DOI: https://doi.org/10.3390/electronics12214486

7. Varshney A., Sharma V., Nayak C., Goyal A.K., Massoud Y. A Low-Loss Impedance Transformer-Less Fish-Tail-Shaped MSto-WG Transition for K-/Ka-/Q-/U-Band Applications. Electronics 2023, 12, 670. DOI: https://doi.org/10.3390/electronics12030670

СЕКЦІЯ «ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

УДК 62-83:681.5
А.Д. Завидний, Д.А. Завидний, О.С. Назарова
Національний університет «Запорізька політехніка»
E-mail: artyr008zavid@gmail.com , dimacad10@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КАЛІБРУВАННЯ ПРИЛАДІВ

В даній роботі було розглянуто нові методи калібрування приладів, можливість запровадити ці методи та обґрунтована доцільність застосування штучного інтелекту для автоматизації процесу калібрування вимірювальних приладів. Основна мета - це підвищення точності, зниження трудовитрат і зменшення кількості помилок у процесі калібрування, викликаних людським фактором, а також підвищення надійності вимірювань в умовах промислового використання. Застосування штучного інтелекту для автоматизації процесу калібрування приладів має на меті прогнозувати необхідність коригування параметрів приладів у реальному часі, а також запобігаючи помилкам і підвищуючи точність, як, наприклад, у системах контролю якості на виробництві, що дасть змогу мінімізувати похибки та кількість браку, отриманого в наслідок людського фактору.
Ключові слова: штучний інтелект, автоматизація, калібрування, вимірювальні прилади, точність, прогнозування, масштабування.

A.D. Zavidnyi, D.A. Zavidnyi, O.S. Nazarova. Application of Artificial Intelligence for Automating the Calibration Process of Instruments. This scientific work explores innovative methods for instrument calibration, the feasibility of their implementation, and substantiates the necessity of applying artificial intelligence (AI) to automate the calibration process of measuring instruments. The primary goal is to improve accuracy, reduce labor costs, and minimize errors during the calibration process caused by human factors, as well as enhance the reliability of measurements in industrial applications. The use of AI in automating the calibration process aims to predict the need for real-time parameter adjustments, prevent errors, and improve accuracy. For instance, in quality control systems in manufacturing, this approach helps minimize the amount of defective output caused by human factors.
Keywords: artificial intelligence, automation, calibration, measuring instruments, accuracy, forecasting, scaling.

Постановка проблеми. На сьогодні вимоги до виробників будь-яких товарів, а особливо з технологічною складовою, постійно зростаюсь. В таких умовах швидкого технологічного прогресу збільшуються вимоги до точності вимірювань, якості виробництва і, як наслідок, до калібрувальних приладів [1]. Проблема полягає в тому, що людина у багатьох випадках не може виконувати роботу з достатньою точністю та швидкістю. Завжди присутній «людський фактор», можливості людини обмежені швидкістю реакції на зміни у реальному часі, та не можливістю швидко обробляти багато даних, без зупинки технологічного процесу [2]. Застосування штучного інтелекту (ШІ) дозволяє значно підвищити ефективність і надійність процесів калібрування, також можливість застосування одного і того алгоритму на різних задачах – тобто є потенціал до масштабування.

Аналіз останніх досліджень. Штучний інтелект відносно нова технологія. Звичайно і раніше інженери користувалися певними програмами з алгоритмами – так званими автоматизованими системами. Але у сьогоденні штучний інтелект може навчатися на основі певних бібліотек, або попередніх дій користувача, та прогнозувати бажаний результат [3]. Завдяки використанню ШІ, можливе створення адаптивних систем калібрування, які здатні до самонавчання і коригування в реальному часі, що дозволяє знижувати залежність від людського фактора і зменшувати час, витрачений на процедури перевірки. У результаті підвищується загальна ефективність і надійність вимірювальних систем. Це дослідження є важливим для розвитку метрології та індустрії загалом, оскільки дає можливість вдосконалити традиційні методи вимірювання і адаптувати їх до вимог часу [4].

Метою роботи є аналіз традиційних методів калібрування, дослідження можливостей штучного інтелекту, розробка моделі системи автоматизованого калібрування та оцінка ефективності застосування ШІ у калібруванні.

Класичне калібрування. Раніше калібрування вимірювальних приладів виконувалося вручну, із використанням еталонів певного класу точності. Процес складався з підготовки приладу, порівняння його показників із еталонними значеннями та коригування похибок [4]. Ця процедура вимагала висококваліфікованого персоналу, значних витрат часу та точного дотримання методик. Основними недоліками класичних методів були ризик людських помилок, трудомісткість і складність забезпечення точності вимірювань в реальних умовах, де зовнішні фактори могли суттєво впливати на результати.

Використання штучного інтелекту в метрології. Впровадження штучного інтелекту (ШІ) у процеси калібрування відкриває нові можливості для підвищення точності, ефективності та автоматизації. ШІ дозволяє адаптувати вимірювальні прилади до змін зовнішнього середовища та технічних характеристик, автоматизуючи процеси налаштування та коригування [5]. Завдяки використанню машинного навчання та нейронних мереж ШІ може аналізувати великі обсяги даних, прогнозувати потребу в коригуванні, адаптуватися до змін і працювати в реальному часі. Це зменшує людський фактор, економить час і ресурси. Також до переваг ШІ відноситься можливість автоматично вести журнал, додавати дані до аналізу, передавати на сервер та виводити статистичні дані. Прикладом є автоматизовані системи на виробничих лініях, які самостійно калібрують прилади без втручання людини, забезпечуючи стабільність і точність вимірювань навіть у масовому виробництві, самостійно та своєчасно сповіщаючи про технічні проблеми [6]. Наприклад, автоматичне калібрування екрану за допомогою штучного інтелекту (ШІ) може бути реалізоване через наступні кроки: використання сенсорів для збору даних про зовнішнє освітлення, калібрування кольорів з використанням камер, машинне навчання для оптимізації параметрів та використання спеціалізованих програм: CalMAN або DisplayCAL, які використовують колориметри або спектрофотометри. (Рис.1)

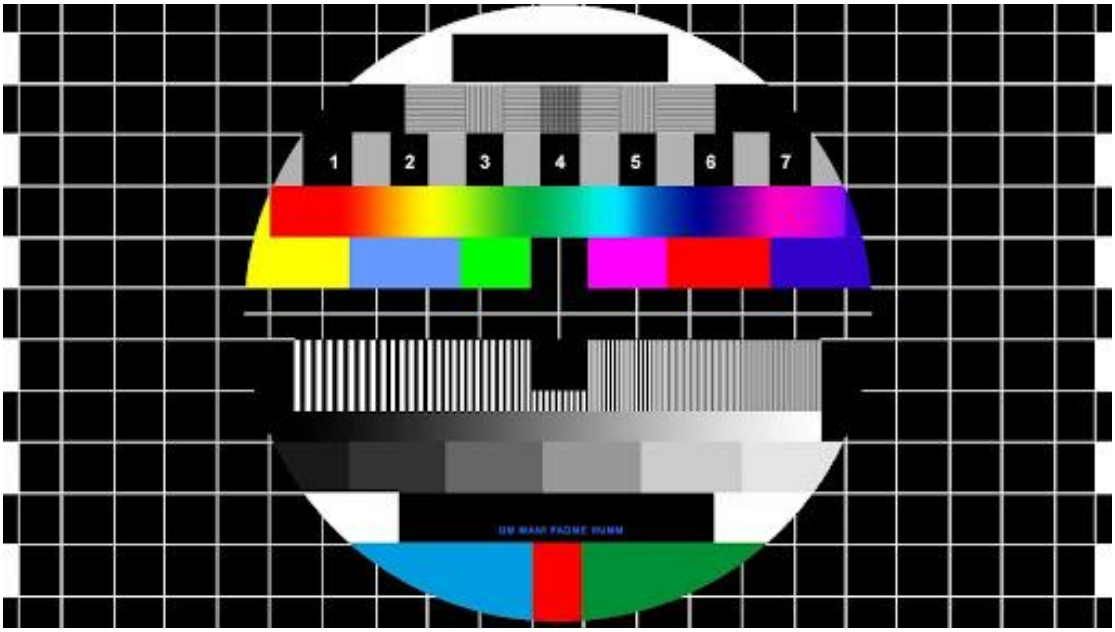


Рис.1 Калібрування екрану згідно з метрологічними стандартами, такими як *sRGB, Adobe RGB* чи *DCI-P3*.

Аналіз та оцінка систем автоматизованого калібрування вимірювальних приладів з використанням штучного інтелекту. Автоматизовані системи калібрування, що використовують штучний інтелект, включають в себе кілька основних компонентів: алгоритми машинного навчання (МН), нейронні мережі та інтерфейси для інтеграції з іншими системами [7].

Основними перевагами використання таких систем є: зменшення людського фактору, збільшення швидкості калібрування, можливість роботи в реальному часі.

Обмеження та виклики. Незважаючи на численні переваги, впровадження автоматизованих систем калібрування з використанням ШІ також стикається з певними обмеженнями [8]:

- висока вартість впровадження, тобто розробка та впровадження таких систем може бути дорогим процесом, що обмежує їх використання в малих і середніх підприємствах;

- наявність необхідних даних - для ефективного навчання алгоритмів ШІ потрібен великий обсяг даних про вимірювання, що може бути складно зібрати на етапі впровадження;

- етика та регуляція, тобто використання ШІ вимагає уваги до етичних та регуляторних аспектів, наприклад, якщо автоматизована система, яка самостійно коригує параметри, та приймає рішення без людського втручання, зробить помилку, то хто буде нести відповідальність: розробник, користувач або сама система – поки залишається відкритим питанням;

- безпека даних - ШІ-системи часто працюють з великими обсягами даних, що ставить під питання забезпеченні конфіденційності та захисту даних;

- авторські права – чи не буде порушувати права інтелектуальної власності модель ШІ, користуючись іншими базами та бібліотеками.

Перспективи розвитку автоматизованих систем калібрування із залученням ШІ. Штучний інтелект значно покращує технології калібрування вимірювальних приладів, обіцяючи підвищення точності, швидкості та надійності. Основні тренди включають глибинне навчання для аналізу великих даних і прогнозування змін, інтеграцію з Інтернетом речей (IoT) для реального часу та предиктивний аналіз для запобігання відхиленням. Інновації, такі як адаптивні системи з самонавчанням і блокчейн для безпеки даних, забезпечують більш точні вимірювання та захист інформації. У різних галузях, таких як автомобільна, авіаційна та медична, ці системи можуть покращити виробництво та обслуговування, підвищуючи точність і безпеку приладів, що робить автоматизоване калібрування стандартом у майбутньому.

Висновок. Впровадження автоматизованих систем калібрування з використанням штучного інтелекту відкриває нові горизонти для метрології та суміжних галузей. Висока точність, можливість прогнозування відхилень та адаптація до змінних умов є значними перевагами, які ці системи пропонують. Завдяки застосуванню глибинного навчання, Інтернету речей та інших сучасних технологій автоматизовані калібрувальні системи здатні покращити ефективність і знизити ризик людських помилок. Перспективи використання таких рішень охоплюють широкий спектр галузей, включаючи авіацію, медицину, автомобільну промисловість та інші сфери, де потрібна висока точність.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ru, X.; Gu, N.; Shang, H.; Zhang, H. MEMS Inertial Sensor Calibration Technology: Current Status and Future Trends. Micromachines 2022, 13, pp. 879. https://doi.org/10.3390/mi13060879.

2. B. Saju, M. K. Gopal, B. Nithya, V. Asha and V. Kumar, "Analysis on Role of Quantum Computing in Machine Learning," 2022 Fourth International Conference on Cognitive Computing and Information Processing (CCIP), Bengaluru, India, 2022, pp. 1-8, doi: 10.1109/CCIP57447.2022.10058679.

3. Kriti Sinha , “ AI and the Future of Metrology: Making Measurements Better and Smarter”- Available at : https://medium.com/@kritisinha29/ai-and-the-future-of-metrology-making-measurements-better-and-smarter-dd633ef76123.

4. What is calibration? - Available at: https://eu.flukecal.com/de/literature/about-calibration

5. Blog post by: Professor Mark Levene, Principal Scientist at NPL. «Calibration in machine learning». - Available at: https://aistandardshub.org/calibration-in-machine-learning

6. The Dawn of AI in Manufacturing: Understanding Its Wide Reaching Impact on Industry. Authors Peter Loh. Available at: https://www.foley.com/insights/publications/2024/04/ai-manufacturing-impact-industry/

7. Artificial Intelligence Rockets to the Top of the Manufacturing Priority List. By Prashanth Parthasarathy, Guido Vetter, Bodo Koerber, Caperton Flood, and Sehoon Min. Available at: https://www.bain.com/insights/artificial-intelligence-rockets-to-the-top-of-the-manufacturing-priority-list-global-machinery-and-equipment-report-2024/#

8. Artificial Intelligence in Advanced Manufacturing: Current Status and Future Outlook. Jorge F. Arinez,Qing Chang,Robert X. Gao,Chengying Xu,Jianjing Zhang. Available at: https://asmedigitalcollection.asme.org/manufacturingscience/article/142/11/110804/1085487/Artificial-Intelligence-in-Advanced-Manufacturing.

УДК 621.313

В.В. Лишук, О.О. Левчук
Луцький національний технічний університет
v.lyshuk@lntu.edu.ua

МЕТОДИКА РЕФЛЕКТОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ В ЗАДАЧАХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

У статті запропоновано методику рефлектометричних вимірювань в оптоволоконному кабелі. Контроль якості волоконно-оптичних ліній передачі здійснено шляхом вимірювання в них втрат світла при передачі інформації. Для цих цілей використано оптичні тестери та рефлектометри. Перші дають змогу знаходити не тільки повні втрати в лінії, другі – розподіл втрат та коефіцієнтів відбиття вздовж лінії. Застосування рефлектометрів дасть змогу ефективно вирішити питання пошуку місця різкого затухання сигналу передачі, тобто пошкодження волокна.

Ключові слова: рефлектометрія, оптоволокно, втрати.

V. Lyshuk, O. Levchuk. Method of reflectometric measurements in telecommunications problems. The article proposes a method of reflectometric measurements in an optical fiber cable. Quality control of fiber-optic transmission lines is carried out by measuring light losses in them during information transmission. Optical testers and reflectometers were used for these purposes. The former make it possible to find not only the total losses in the line, the latter - the distribution of losses and reflection coefficients along the line. The use of reflectometers will make it possible to effectively solve the issue of finding the place of sharp attenuation of the transmission signal, i.e. fiber damage.

Key words: reflectometry, optical fiber, losses.

Постановка проблеми. Рефлектометричні вимірювання на сьогодні є найважливішою складовою робіт, що проведяться під час монтажу та експлуатації волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ), оскільки з їх допомогою визначається якість цих ліній та швидкість передаваної інформації, тобто інтернету в цілому. Контроль якості волоконно-оптичних ліній передачі здійснюється шляхом вимірювання в них втрат світла при передачі інформації. Для цих цілей використовують оптичні тестери та рефлектометри. Перші дають змогу знаходити не тільки повні втрати в лінії, другі – розподіл втрат та коефіцієнтів відбиття вздовж лінії.

У локальних місцевих лініях довжиною 1...2 км можна виміряти повні втрати за допомогою оптичних тестерів. Такий метод вимірювання є еталонним, так як у ньому вимірюється безпосередньо частина потужності, поглинута у волокні. Однак за допомогою оптичних тестерів можна виміряти тільки повні втрати в лінії передачі і при цьому необхідно мати доступ одночасно до обох кінців волокна. Це проблематично здійснити в магістральних лініях. Мета роботи – ознайомлення з основами теорії та практики вимірювання основних параметрів волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Основна частина. Принципи сучасних електронних комунікацій є фундаментальними для розуміння та оцінки волоконної оптики. Можливість застосування скла, як провідника оптичного випромінювання, залежать від його фізико-хімічних властивостей і стабільності їх забезпечення в процесі виробництва і експлуатації волоконно-оптичних кабелів. Практичний інтерес використання такого середовища передачі як скло полягає в тому, що оптичне випромінювання розповсюджується всередині його і не піддається впливу зовнішніх електромагнітних полів.

Таким чином, скляний провідник є закритою напрямною системою на відміну від мідних провідників. В останніх, як відомо, присутні електромагнітні завади, що є суттєвим недоліком при передачі інформації. Але при значному згині волокна частина випромінювання через оболонку виходить назовні.

В наш час використовують волоконно-оптичні кабелі з багатомодовими градієнтами або одномодовими волокнами, що відрізняються характером зміни показника заломлення по довжині волокна, і як наслідок, характером розповсюдження оптичного випромінювання у волокні. В магістральних лініях використовують кабель з одномодовими волокнами, що забезпечують більші довжини регенераційних ділянок і високу пропускну здатність. Енергетичною характеристикою апаратури цифрового волоконно-оптичного тракту є енергетичний потенціал W, що визначається як різниця між рівнями середньої потужності оптичного сигналу на виході передавального $P_{пер}$ і мінімально допустимим на вході приймального оптоелектронних модулів P_{min} при заданому коефіцієнті помилок $K_n = 10^{-10}$.

Значення величин енергетичних потенціалів апаратури лінійного тракту в залежності від швидкості передачі сигналів знаходяться в межах 20-50 дБ. Оптичні сигнали, що передаються по волокні, зазнають оптичного затухання.

Використання діапазону довжини хвиль 0,85 мкм забезпечує можливість отримання граничних значень затухання у волокні на рівні 3 дБ/км, хвиля довжиною 1,3 мкм має затухання га рівні до 1 дБ/км і діапазон 1,55 мкм має втрати близько 0,2 дБ/км. Зрозуміло, що збільшення довжини хвилі, призведе до зменшення втрат. Так, теоретично при довжині хвилі на рівні 3 мкм, можна отримати втрати на рівні 10^{-3} дБ/км.

Для кожного лінійного тракту чи ділянки ВОЛЗ повинен бути забезпечений енергетичний запас в 6 дБ, що потрібен на компенсацію можливих погіршень характеристик волокна і оптоелектронних модулів в процесі експлуатації, а також на стики при комутаціях та ремонті кабелю [2, 4].

З урахуванням енергетичного запасу та втрат у волокні при максимально можливих значеннях енергетичних потенціалів можна забезпечити наступні граничні довжини регенераційних ділянок: при l = 0,85 мкм до 12 км; при l = 1,3 мкм до 30 км для градієнтного волоконно-оптичного кабелю та до 45 км для одномодового; при l = 1,55 мкм до 100 км для одномодового волоконно-оптичного кабелю. Сукупність послідовно з'єднаних оптичних волокон лінійного та станційного кабелів включає в себе роз'ємні та нероз'ємні оптичні з'єднувачі, лінійні та станційні з'єднувальні пристрої, що утворюють елементарну кабельну ділянку (ЕКД).

Довжина ЕКД в основному залежить від параметрів волоконно-оптичної системи передачі на ділянці регенерації. Залежність визначається типом застосовуваного випромінювача, довжиною хвилі λ та рівнем середньої потужності оптичного сигналу на його виході $P_{пер}$, шириною спектра випромінювання Δλ, сумарним загасанням в оптичних волоконних кабелях, включаючи власні втрати оптичному волокні; втратами на вводі та виході оптичної енергії в оптичних роз'ємних з'єднувачах на передачі та прийомі, а також у нероз'ємних зварних з'єднаннях лінійного кабелю, втратами у зварних з'єднаннях волокон; типом фотоприймального пристрою тощо.

Стрімкий поступ застосування волоконно-оптичних технологій диктує розроблення надійних та універсальних способів та методів діагностики волоконних світловодів (ВС) та кабелів на їх основі. Найвідомішим є метод зворотного розсіювання (МЗР) або OTDR-метод (optical time domain reflectometry). Тобто це є оптична рефлектометрія у часовій області. Ця методика має здатність визначати розподіл характеристик та параметрів, зокрема втрат при передачі світла. Це дає змогу вивчати різні фізичні явища та процеси та будувати датчики електромагнітних величин [3, 6].

Модернізація оптоволоконних систем спонукала до швидкого прогресу у виробництві волоконних світловодів з низькими втратами і широкою смугою пропускання. Їх діаметр лежить в межах від 0,007 до 1 мм, які направляють сигнал від передавача до приймача. Вибір оптичного волокна визначається багатьма факторами і залежить від структури його поперечного перерізу, послаблення електричної потужності, ширини смуги пропускання. На сьогодні волокна відносять до трьох класів: багатомодові зі ступінчастим профілем показника заломлення, баготомодові з градієнтним профілем та одномодові.

Вирішальним фактором для функціонування світловодних пристроїв і компонентів є те, що світло може розповсюджуватись у волоконних світловодах. Це важливо для оптичних волокон, передавачів, лазерів, фотодетекторів тощо. Структура оптоволокна показана на рисунку 1.1.

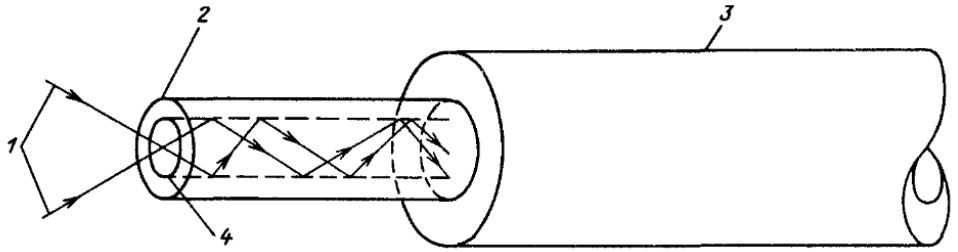


Рисунок 1.1 – Структура оптоволокна: 1 – світло; 2 – оболонка; 3 – захисне покриття; 4 – серцевина

Волокно складається з серцевини із силікатного скла з вищим показником заломлення, ніж в оболонки. Волокно захищається оболонкою від механічних впливів та мікротріщин. Показник заломлення для всіх матеріалів $n > 1$, (зазвичай $n \approx 1{,}5$), тому швидкість світла є меншою, ніж у вакуумі. Чим більший

показник заломлення матеріалу, ти менша швидкість розповсюдження світлової хвилі. Межа розділу середовищ відокремлює матеріал 1 (волокно) від матеріалу 2 (захисної облолонки), причому $n_1 > n_2$. На рисунку 1.2 показано пучок світла, що виходить з світловоду. Світло розповсюджується у межах конусу, що визначається критичним кутом, захвачується і розповсюджується у волоконному світловоді [1].

Суть хвилеводного розповсюдження світла у світловодах показано на рисунках 1.3. На рисунку 1.2, а світловий промінь розповсюджується з матеріалу 1 в матеріал 2. На межі стику матеріалів частина світла відбивається назад в матеріал 1. Інша перетинає межу у вигляді заломленого променя, що розповсюджується під кутом θ_2. Тут забезпечується рівність $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$.

Якщо кут θ_1 збільшується, то досягається точка, де заломлений промінь зникає. Це критичний кут ковзання визначає точку, в якій на границі проходить повне внутрішнє відбиття з кутом θ_2, що показано на рисунку 1.3, б. Всі світлові промені з кутом падіння більшим, ніж критичний, є повністю відбитими (рис.1.3, в).

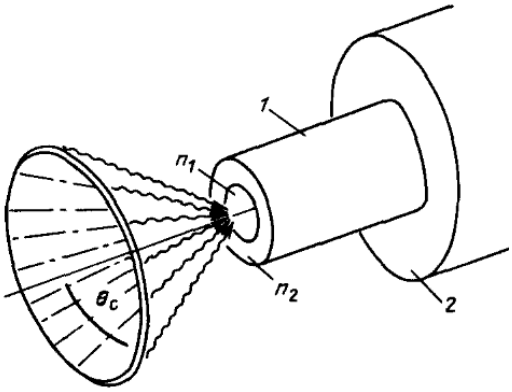


Рисунок 1.2 – Схематичне зображення вхідного кута світловода: 1 – волокно; 2 – захисне покриття

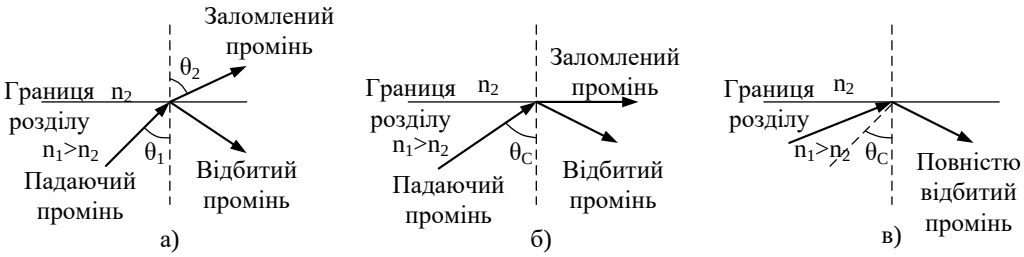


Рисунок 1.3 – Хвилеводне розповсюдження світла у світловодах

Конус захвату, який описує умову хвиле водного розповсюдження світла в оптоволокні, визначається його числовою апертурою (NA). Вона є важливим параметром волокна, що характеризує ввід потужності випромінювання від випромінювача у волокно і від волокна до волокна.

На сьогодні всі існуючі види оптичних волокон за структурою поширення у них хвиль поділяються одномодові та багатомодові, що є двошаровими структурами склокварцевого стержня та оболонку з кремнійорганічного компаунду. Сердечник одномодового волокна має показник заломлення $n_1 = \sqrt{\varepsilon_1}$ та зовнішній діаметр від 6 до 10 мкм, а оболонка має показник заломлення $n_2 = \sqrt{\varepsilon_2}$ та зовнішній діаметр 50 або 62,5 мкм. Зовнішній діаметр оболонки становить 125 мкм. На рис.1.4 показано поперечні перерізи та профілі розподілення показників заломлення оптичного волокна.

Основними характеристиками оптоволокна є геометричні параметри, робочі частоти і смуги пропускання, затухання і дисперсія. До геометричних параметрів відносять діаметри сердечника та оболонки (номінальні розміри 8,3/125 мкм і 50/125 мкм характеризують тип кабелю), відхилення сердечника і оболонки волокна від форми кола. Числова апертура *NA*, нормована частота υ, відносна різниця показників заломлення Δ визначають кількість мод *N*. Ця кількість мод дорівнює $V^2/2$ для ступінчастого і $V^2/4$ – для градієнтного оптичного волокна. Наприклад, для волокон розміром 8.3/125 мкм фірми Corning $n_1 = 1.47$, $\Delta = 0.036$, числова апертура становить NA = 0.125, мінімальна

довжина хвилі, при якій реалізується одномодовий режим λ_{min} = 1.355 мкм. Для хвиль більшої довжини оптоволокно буде однохвилевим [7].

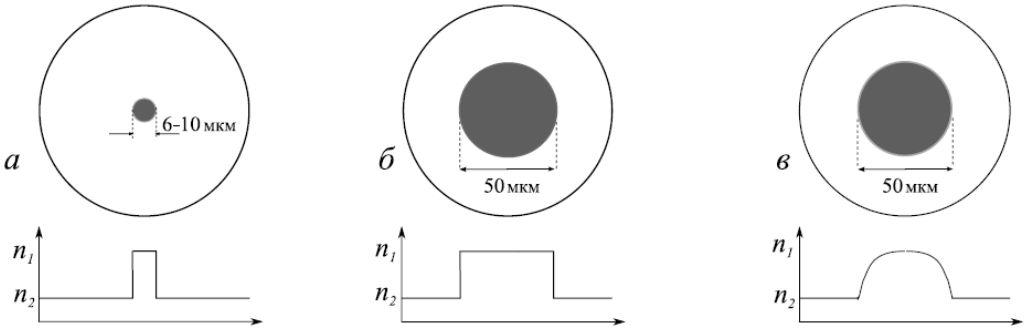


Рисунок 1.4 – Поперечні перерізи та профілі розподілення показників заломлення оптоволокна: а) одномодове; б) багатомодове з ступінчастою зміною показника заломлення; в) багатомодове з квадратурною зміною показника заломлення

Міжмодова дисперсія у градієнтних ОВ на 1-2 порядки нижча, ніж у ступінчастих. Це зумовлено тим, що за рахунок зменшення показника заломлення від осі ОВ до оболонки швидкість розповсюдження променів змінюється. На ділянках траєкторій, близьких до осі, вона менша, а на ділянках віддалених від осі, більше. Отже, промені, що розповсюджуються найкоротшими траєкторіями (ближче до осі), мають меншу швидкість, а промені, що поширюються по більш протяжним траекторіях, мають високу швидкість. В результаті час поширення променів (мод) вирівнюється і розширення імпульсу на приймачі стає меншим.

У одномодових ОВ міжмодова дисперсія відсутня. Тут передається одна мода. Поширення імпульсу зумовлено хроматичною дисперсією, яку поділяють на матеріальну і хвилеводну.

Хвильоводна дисперсія зумовлена залежністю групової швидкості моди від частоти і визначається профілем показника заломлення ОВ.

У нормальних умовах матеріальна дисперсія переважає над хвилеводною. Обидві компоненти можуть мати протилежний знак та відрізняються залежністю від довжини хвилі. Це дозволяє, оптимізуючи профіль показника заломлення, мінімізувати загальну дисперсію ОВ на заданій довжині хвилі за рахунок взаємокомпенсації матеріальною та хвилеводною дисперсією.

Висновки. На сьогодні актуальним завдання в області телекомунікацій є контроль якості при прокладанні волоконно-оптичних систем, а також способи та методи їх діагностики, зокрема визначення місця пошкоджень. Для дослідження і діагностики при експлуатації волоконно-оптичного кабелю можна вибрати рефлектометри різних типів. Це дасть змогу ефективно вирішити питання пошуку місця різкого затухання сигналу передачі, тобто пошкодження волокна.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бортник Г. Г., Васильківський М. В., Кичак В. М. Напрямні телекомунікаційні системи : лабораторний практикум. В. : ВНТУ. 2021, 104 с.

2. Kegen Yu. Theory and Practice of GNSS Reflectometry. Xuzhou. China. 2021, 376 p.

3. Мохунь І.І., Вікторовська Ю.Ю., Галушко Ю.К. Оптичні технології в інформаційній техніці. Чернівці: Чернів. нац. ун-т. 2021, 301 с.

4. Бондарчук А.П., Срочинська Г.С., Твердохліб М.Г. Основи інфокомунікаційних технологій. К. 2021, 76 с.

5. A.J. Armstrong, T.M. McCoy, R.J.L. Welbourn, R. Barker, J.L. Rawle, B. Cattoz, P.J. Dowding, A.F. Routh. Towardsa neutron and X-ray reflectometry environment for thestudy of solid-liquid interfaces under shear. Scientific Rep.11. 2021, P.110-124.

6. Лишук В.В., Заблоцький В. Ю., Євсюк М.М., Селепина Й.Р., Хвищун М.В. Рефлектометрія у волоконно-оптичних лініях передачі. Технічні вісті. 1(57), 2(58). 2023, С.52-56.

7. V.I. Petrenko, Ye.N. Kosiachkin, L.A. Bulavin, M.V. Avdeev. Optimization of the initial interface configuration forin-situ neutron reflectometry experiments. J. Surf. Investigation. 2020, - P. 96-107.

СЕКЦІЯ «МІКРО- ТА НАНОСИСТЕМНА ТЕХНІКА»

УДК 621.3.049.77
І.В. Андрусик, Ю.С. Лапченко
Луцький національний технічний університет

СТРУКТУРНІ ВЛАСТИВОСТІ КРЕМНІЄВИХ НАНОСТРУКТУР, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ТРАВЛЕННЯ

Стаття присвячена огляду структурних властивостей кремнієвих наноструктур, отриманих методом електрохімічного травлення. Описані структурні властивості пористого кремнію, як інтегральні, так і локальні (мікроскопічні) властивості. Встановлено, що мікропористий кремній при пористості близько 80% характеризується найменшими розмірами наноструктур (близько кількох нм). Можливе формування мікропористих шарів ПК та більшої пористості (понад 90%). Однак подібні шари механічно вельми не міцні, їх отримання використання складної процедури надкритичного висушування.

Ключові слова: кремній, нанокристал, наночастинка, наноструктура, пороутворення, скануюча електронна мікроскопія.

I. Andrusyk, Y. Lapchenko. Structural properties of silicon nanostructures obtained by electrochemical etching. The article is devoted to a review of the structural properties of silicon nanostructures obtained by electrochemical etching. The structural properties of porous silicon are described, both integral and local (microscopic) properties. It is established that microporous silicon with a porosity of about 80% is characterized by the smallest sizes of nanostructures (about several nm). It is possible to form microporous layers of PC and higher porosity (over 90%). However, such layers are mechanically very weak, their production requires the use of a complex procedure of supercritical drying.

Keywords: silicon, nanocrystal, nanoparticle, nanostructure, pore formation, scanning electron microscopy.

Постановка проблеми. Істотну роль розвитку сучасних оптоелектронних технологій займає створення та дослідження напівпровідникових нано- і мікроструктур. Монокристалічний кремній є основним матеріалом сучасної мікроелектроніки. Масовий вміст кремнію у земній корі становить 29,5%, що зумовлює безумовну економічну вигоду його промислового використання. Нині чудово розвинені методи видобутку, очищення та легування кремнію. Однак мініатюризація компонентів сучасних інтегральних схем і оптичних систем, що стрімко відбувається, вимагає знаходження нових шляхів формування низькорозмірних кремнієвих структур, що в свою чергу стимулює численні наукові дослідження у цій галузі.

Зокрема, електронні та оптичні властивості монокристалічного кремнію. можуть бути змінені в результаті електрохімічного травлення, за допомогою якого формується пористий кремній (ПК) - середовище, що складається з пор та нанокристалів розміром від одиниць до сотень нанометрів [1, 2]. До переваг даного методу слід віднести швидкість та контрольованість процесу, а також його невисоку вартість. Крім цього метод електрохімічного травлення чутливий до кристалографічної орієнтації поверхні та рівню легування кремнієвої підкладки, що дозволяє керувати просторовим розташуванням та розмірами кремнієвих нанокристалів і пор і створювати середовища, в яких можуть бути досягнуті велика величина штучної античної анізотропії та (або) посилення локального поля у наночастинках. Ці механізми можуть бути використані при створенні нових фотонних середовищ для управління поляризацією світла, а також компактних нелінійно-онтичних перетворювачів частоти.

Вступ. Вперше формування шару ПК на поверхні монокристалічного кремнію КК при його електрохімічному травленні було виявлено в 1956 А. Улиром [3]. Згодом цей процес вивчався багатьма дослідниками [4, 5]. Часто для виготовлення ПК як електроліт використовують концентровану плавикову кислоту (HF) або її водно-спиртові суміші $HF:H_2O:C_2H_5OH$ у різних пропорціях, залежно та умовами експерименту. Хімічні реакції, що натікають на кремнієвому електроді при анодному травленні на межі кремній/електроліт та що приводять до утворення плівки ПК, докладно описані.

Викладення основного матеріалу. Шари ПК, отримані в результаті електрохімічного травлення, являють собою композитний матеріал з кремнієвих залишків кристалічної структури та пор, розміри яких становлять зазвичай від одиниць до кількох сотень нанометрів. Оптичні та електронні властивості плівок ПК значно варіюються зі зміною їх товщини, пористості та морфології непротруєних ділянок (наноструктур). Товщина плівки пористого кремнію зростає із збільшенням часу травлення t. Спочатку це співвідношення лінійне, причому нахил прямих збільшується зі зростанням щільності струму j. При більш тривалій обробці товщина плівки у першому наближенні пропорційна $t^{1/2}$. Швидкість зростання плівки також збільшується з збільшенням щільності струму травлення зразка і суттєво залежить від рівня легування КК [1] (див. рис. 1).

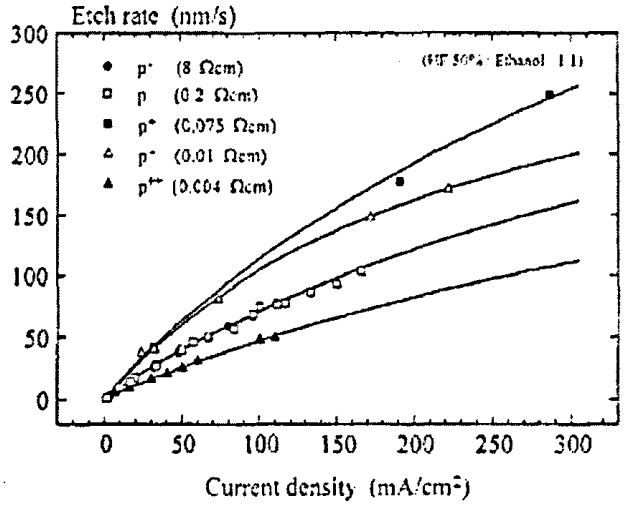


Рис. 1 Залежність швидкості зростання плівки ПК від щільності струму для зразків, що вирощуються на підкладках КК з різним питомим опором [1].

Описуючи структурні властивості ПК, зазвичай використовують як інтегральні, так і локальні (мікроскопічні) властивості. Однією з основних інтегральних характеристик ПК є пористість ρ, яка визначається як

$$\rho = 1 - \frac{\rho_{ПК}}{\rho_{Si}}, \tag{1.1}$$

де $P_{пк}$ – щільність ПК, P_{Si} – щільність КК. Параметр p характеризує ставлення віддаленої речовини до початкової її кількості (до пороутворення) і зазвичай виражається у відсотках. Оцінити величину p можна, наприклад, гравіметричним способом. Для цього зважують кремнієву пластину до пороутворення, після формування, та після стравлювання шару ПК [6].

Пористість залежить від електричних параметрів (типу провідності та рівня легування) вихідної пластини КК, а також від умов електрохімічної обробки (концентрації HF в електроліті і щільності струму при анодуванні). На рисунках 2 та 3 представлені дані скануючої електронної мікроскопії межі розділу ПК/КК для зразків п- та р-типу, відповідно, що характеризуються різним рівнем легування підкладок КК та щільностями струму травлення. Як випливає з рисунків 2 і 3, простежується тенденція зростання пористості p зі збільшенням щільності струму травлення та рівня легування кремнію для обох типів зразків. У даних експериментах для отримання ПК використовувався електроліт HF (50%):C_2H_5OH=1:1.

Тип ПК визначається залежно від розміру пір відповідно до прийнятої ШРАС (International Union of Pure and Applied Chemistry) класифікацією [7].

Встановлено, що мікропористий кремній при пористості близько 80% характеризується найменшими розмірами наноструктур (близько кількох нм). Можливе формування мікропористих шарів ПК та більшої пористості (понад 90%). Однак подібні шари механічно вельми не міцні, їх отримання використання складної процедури надкритичного висушування [8].

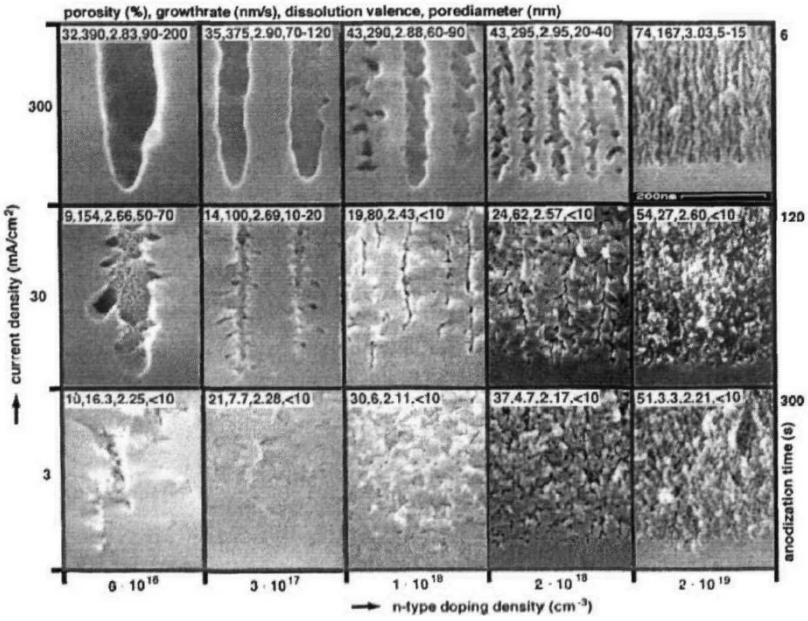


Рис. 2 Дані скануючої електронної мікроскопії межі КК/ПК для кремнію n-типу із орієнтацією поверхні (100)

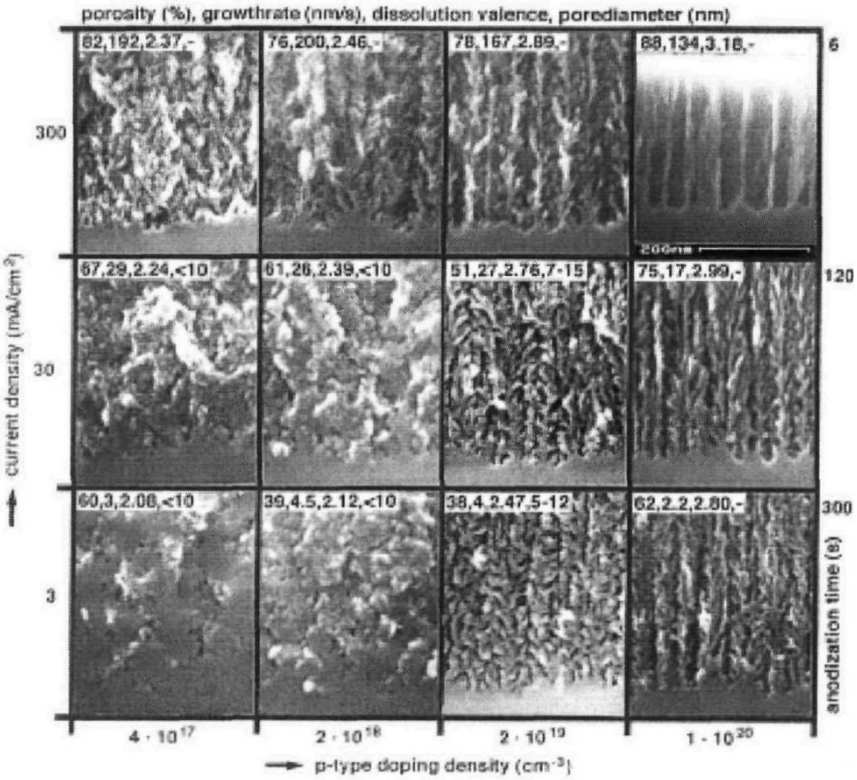


Рис. 3 Дані скануючої електронної мікроскопії межі КК/ПК для кремнію p-типу із орієнтацією поверхні (100)

Дослідження мікроструктури ПК показало, що в процесі електрохімічного травлення КК зростання пір відбувається переважно в напрямках <100> (див, наприклад, [2]). Цей ефект обумовлений анізотропією швидкостей травлення. Даний ефект зумовлений анізотропією швидкостей травлення залежно від кристалографічного напряму: 15:10:1=[100]:[110]:[111] [2]. Подібна анізотропія росту пір добре фіксується для шарів на підкладках із сильно легованого кремнію p-типу провідності (p^+-Si) або для кремнію електронного типу провідності (n-Si). У шарах ПК, одержаних на слабо легованому кремнії p-типу (p-Si), поширення пір відбувається з більшим ступенем невпорядкованості. На рисунку 4 представлений знімок поперечного розрізу шару макропористого ПК, отриманого травленням КК (ПО), що демонструє переважне зростання пір у напрямку [100]. Рисунок лежить у площині (112) [2].

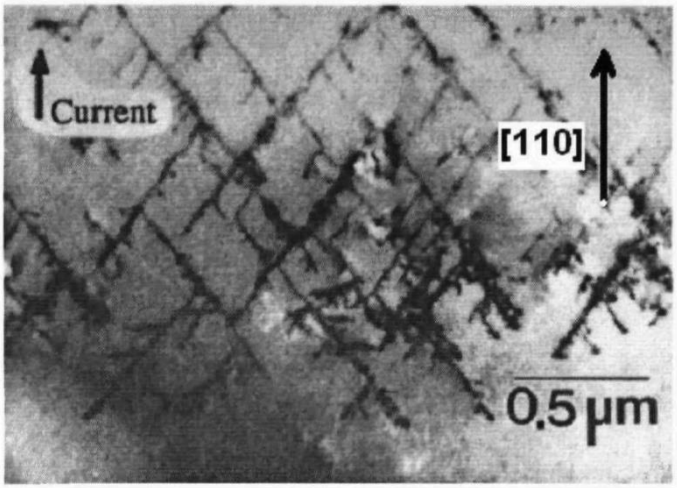


Рис. 4 Дані електронної мікроскопії структури ПК, що просвічує (110) [2]

У ПК зберігаються кристалічні грати, на що вказують картини дифракції електронів, отримані в геометрії "проходження", і навіть рентгенівських променів. В електронно-дифракційній картині (рис. 5) простежується періодичне розташування характерних плям. Розмиття плям на знімку говорить про збільшення розупорядкованості ПК зі зростанням його пористості (р збільшується від (a) до (d)). Така розпорядкованість швидше за все пов'язана з деякою розорієнтацією різних елементів низькорозмірної структури (кластерів та ниток), що цілком зрозуміло, враховуючи її нанометричні розміри. Однак, порядок розташування атомів, як і в кристалічній структурі КК зберігається.

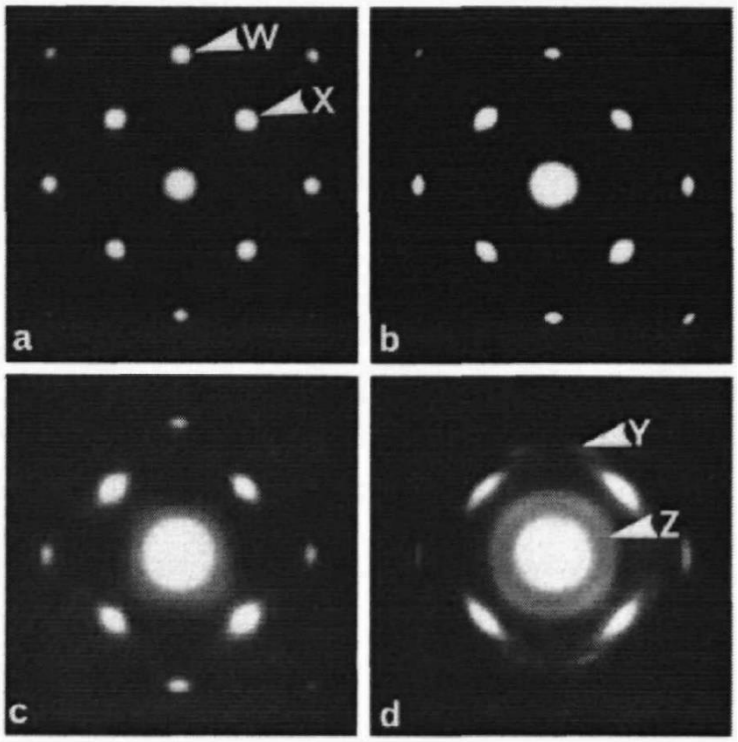


Рис. 5 Картини дифракції електронів для зразків ПК (001) різної пористості (пористість збільшується від (a) до (d))

Адсорбційними методами було показано, що ПК має дуже розвинену поверхнею (до 800 м^2/г). Безпосередньо після виготовлення поверхня нанокристалів ПК за даними ІЧ спектроскопії, переважно покрита атомами водню. Як показує непряма оцінка дослідження адсорбційної активності ПК, відношення концентрацій атомів H/Si досягає 0,3-0,66 для різних зразків пористості (за іншими даними 0,1). У кисневмісній атмосфері відбувається ефективне окислення, що призводить до різкого збільшення концентрації дефектів та суттєвому зменшенню ефективності люмінесценції [1]. Вакуумні прогріви плівок ПК викликають десорбцію водню з поверхні зразків,

починаючи з 200°С, та повне його видалення при температурах понад 350°С. Інтенсивність кисневих смуг в ІЧ спектрах при таких прогрівах практично не змінюється.

Висновки. З наведених результатів робіт великої кількості дослідників ясно, що структура ПК має вигляд мережі з розмірами осередків в одиниці та десятки нанометрів. ПК має величезну питому поверхню і, залежно від передісторії зразка, великою кількістю хімічно активних центрів, які впливають його властивості. Отже, для правильної та несуперечливої інтерпретації фізичних та хімічних властивостей необхідно чітко фіксувати передісторію зразка.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. W. TheiB "Optical properties of porous silicon" // Surf. Science Rep., 1997, v. 29, pp. 91-192.
2. A.G. Gullis, L.T. Canham, P.D.J. Calcott "The structural and luminescence properties of porous silicon" // Appl. Phys. Lett., 1997, v. 82, pp. 909-965.
3. 10 A. Uhlir "Electrolytic shaping of germanium and silicon" // Bell Syst. Tech., 1956, v. 35, X» 2, pp. 333-347.
4. R.L. Smith, S.D. Collins "Porous silicon formation mechanisms" // J. Appl. Phys., 1992, v. 71,№8,pp. R1-R22.
5. O. Bisi, S. Ossicini, L. Pavesi, "Porous silicon; a quantum stronge structure for silicon based optoelectronics" // Surface Science Report, 2000, v. 38, pp. 1-126.
6. R. Herino, G. Bomchil, K. Baria, C Bertrand, J.L.Ginoux "Porosity and pore size distribution of porous silicon layers" // J. Electrochem. Soc, 1987, v. 134, pp. 1994-2000.
7. J. Rouquerol, D. Avnir, C.W. Fairbridge, D.H. Everett, J.H. Haynes, N. Pemicone, J.D.F. Ramsay, K.S.W Sing, K.K. Unger "Recommendations for the characterization of porous solids". Pure Appl. Chem, 1994. v. 66, pp. 1739-1758.
8. L.T.Canham, A.G. Cullis, C. Pickering, O.D. Dosser, D.I. Cox, T.P. Lynch "Luminescent anodized silicon aerocrystal networks prepared by supercritical drying" // Nature, 1994, v. 368, p. 133-138.

УДК 620.3

В. Ю. Денисюк, О. Д. Кібиш
Луцький національний технічний університет
E-mail: v.denysiuk@lntu.edu.ua

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОХІМІЧНОГО ЗАПИСУ ЗОБРАЖЕНЬ НА ТОНКИХ МЕТАЛЕВИХ ПЛІВКАХ

У даній роботі проведено аналіз сучасних експериментальних досліджень лазерного термохімічного запису при скануванні безперервним та імпульсним сфокусованим пучком на поверхні різних металевих плівок. В результаті проведеного огляду була виявлена можливість отримання елементів термохімічного зображення з розмірами, меншими за розмір опроміненої області та розміру, що відповідає дифракційній межі оптичної системи. Це визначається експоненціальною залежністю швидкості окислення від температури та присутністю опто-термохімічних зворотних зв’язків у фізичному процесі формування термохімічного зображення, що відповідає центральній частині гауссового розподілу оптичної інтенсивності лазерного випромінювання. Рівень прозорості залежить переважно від хімічного складу записаних структур, що у свою чергу визначається параметрами лазерного запису.

Ключові слова: лазер, термохімічний запис, плівка, окислення, імпульс, лазерна енергія, товщина, оксидний шар.

V. Denysiuk, O. Kibysh. Analysis of the methods of laser thermochemical recording of images on thin metal films. In this work, an analysis of modern experimental studies of laser thermochemical recording during scanning with a continuous and pulsed focused beam on the surface of various metal films is carried out. As a result of the review, the possibility of obtaining elements of a thermochemical image with dimensions smaller than the size of the irradiated area and corresponding to the diffraction limit of the optical system was revealed. This is determined by the exponential dependence of the oxidation rate on temperature and the presence of opto-thermochemical feedback in the physical process of forming a thermochemical image, which corresponds to the central part of the Gaussian distribution of the optical

intensity of laser radiation. The level of transparency depends mainly on the chemical composition of the recorded structures, which in turn is determined by the laser recording parameters.

Key words: laser, thermochemical recording, film, oxidation, pulse, laser energy, thickness, oxide layer.

Постановка проблеми. В даний час – епоху інформаційних технологій – потрібне створення оптичних девайсів з надвисокою роздільною здатністю, причому мінімальний розмір елемента повинен бути менше 100 нм. Нелазерні літографічні технології зараз можуть забезпечити розмір елементів менше 10 нм, це технології, пов'язані із застосуванням пучків випромінювання високої енергії (електронних, іонних та рентгенівських) та літографія на основі скануючої зондової мікроскопії. Однак такі технології вимагають роботи в умовах високого вакууму, що визначає низьку швидкість меншої площі поверхні і високу вартість виготовлення. У сучасній індустрії обробки напівпровідникових чіпів (TSMC, Qualcomm, Intel тощо) застосовується літографія на основі глибокого ультрафіолету (DUV – Deep Ultraviolet) з використанням ексімерного лазера довжиною хвилі 193 нм, при цьому мінімальний розмір елемента був зменшений до 10 нм, а новітні системи літографії використовують наджорстке ультрафіолетове випромінювання (EUV – Extreme Ultraviolet) з довжиною хвилі 13,6 нм для подальшого зменшення розміру елемента до 3 нм. Хоча DUV/EUV літографічні технології мають переваги при масовому виробництві та високу ефективність, проте їх дороговартісна система літографії накладає обмеження на застосування в індивідуальному та дрібносерійному виробництві. З іншого боку, такі літографічні технології засновані на застосуванні шаблонів, тобто мікро/наноструктури спочатку виготовляються на шаблонах із використанням методів літографії без маски, таких як лазерний та електронно-променевий запис, а потім переносяться на кремнієві пластини за допомогою проекційної або наноімпринтної літографії. Тому необхідні дослідження з виготовлення масок простішими та ефективнішими лазерними методами для отримання необхідних нанорозмірних елементів, що задовольняють потреби індустрії з виробництва чіпів. Крім того, нанометровий масштаб амплітудної або фазової маски має важливе значення у формуванні дифракційних оптичних елементів (ДОЕ) або напівтонових фотошаблонів, які широко застосовуються у різних галузях індустрії, і особливо важливі в оптичному зв'язку, медицині та інших галузях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування лазерного термохімічного запису на тонких плівках спочатку здійснювалося як поверхневе лазерне окислення тонкого шару плівки хрому на товщину декілька мікрометрів, з утворенням таким чином локального захисного оксидного покриття, що перешкоджає травленню плівки опроміненої ділянки [1]. Метод був розроблений і використаний в тонкоплівкових технологіях виготовлення прецизійних дифракційних оптичних елементів (ДОЕ) ще в 70-х роках минулого століття [2] і в ряді галузей застосування в мікроелектроніці успішно конкурував з традиційним методом фотолітографії (рис. 1, а), так як він забезпечував високі значення роздільної здатності, високі рівні точності та утворення стабільного оксидного шару на поверхні плівки, істотне скорочення етапів виготовлення (рис. 1, б) [3].

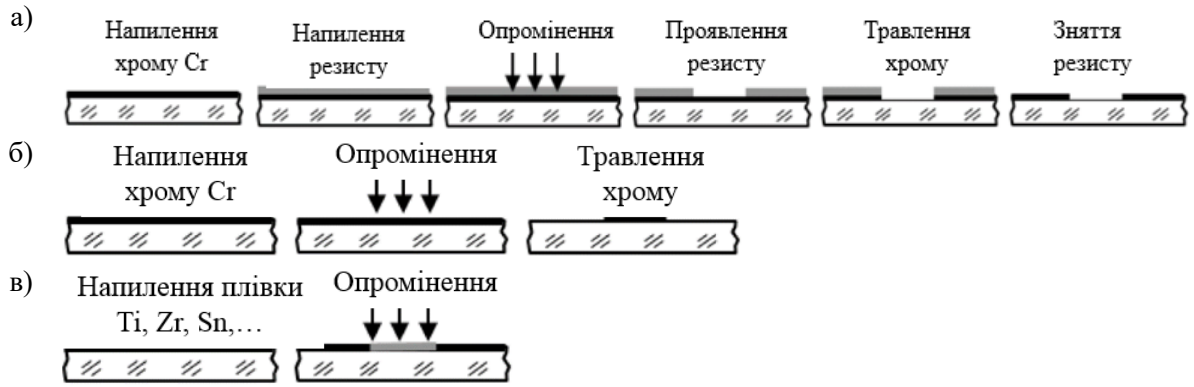


Рисунок 1 – Процедури виготовлення планарних структур: а) методом фотолітографії; б) методом поверхневого лазерного окислення з подальшим травленням; в) з утворенням прозорих оксидів [3]

Метод поверхневого лазерного окислення з утворенням захисного шару оксиду застосовувався для прямого лазерного запису ДОЕ з просторовою роздільною здатністю до 2 мкм$^{-1}$, полем запису до 300 мм і точністю межі дифракційної зони 25 нм. При багатопучковому багатопрохідному записі на тонких плівках хрому можливо отримати поліпшення контрастності та просторової роздільної здатності термохімічного зображення завдяки позитивному зворотному зв'язку між поглинальною здатністю плівки і товщиною утвореного оксиду [3]. Метод поверхневого лазерного окислення з утворенням захисного шару оксиду має ряд недоліків, пов'язаних з наявністю операції травлення, найбільш істотними є високий відсоток браку, складний контроль процесу травлення та відносно низька продуктивність. Згодом був запропонований і активно розвивався одноетапний метод термохімічного запису на тонкій металевій плівці, без додаткового операції травлення плівки.

Одноетапний метод термохімічного запису на тонкій металевій плівці полягає в досить глибокому або наскрізному (на всю товщину) окисленні плівки, в результаті чого в опромінених ділянках змінюються оптичні властивості плівки (збільшується пропускання) [4]. Для запису використовують тонкі плівки металів, що утворюють оптично прозорі оксиди (Ti, Zr, Sn тощо). Таким чином, скорочується процес формування планарних структур до одного етапу (рис. 1, в), відбувається економія ресурсів на виробництві і збільшується продуктивність виготовлення, а мінімальні розміри записаних елементів можуть мати значення, що порівняються з електронно- та іонно-променевими методами.

Мета роботи. Провести аналіз сучасного стану розробок і методів теоретичного та експериментального дослідження взаємопов'язаних процесів тривимірного локального лазерного нагрівання та окислення тонких металевих плівок та зміни їх оптичних властивостей в умовах мікронних та субмікронних розмірів областей впливу та наскрізного окислення плівки.

Викладення основного матеріалу. Топологічна структура, сформована захисним оксидним шаром на поверхні плівки хрому (рис. 1, б), може мати мінімальні розміри до 200 нм (менше половини довжини хвилі лазерного випромінювання 488 нм), а загальні розміри термохімічного зображення до десятків сантиметрів в діаметрі [7]. Перші експерименти з дослідження одноетапного термохімічного методу запису на тонких металевих плівках з утворенням оптично прозорих оксидів (рис. 1, в), були отримані на плівці титану товщиною 6 нм, при цьому мінімальне значення записаних структур становило 196 нм при використанні випромінювання довжиною хвилі 488 нм, сфокусованого на поверхні плівки з діаметром лазерної плями близько 500 нм [8].

Однак такі ультратонкі плівки не можуть бути успішно використані для формування ДОЕ через низький контраст записаних термохімічних зображень (близько 41%). Для отримання нанометрових розмірів зображення також можна використовувати метод наскрізної абляції плівки, наприклад, у роботі [9] абляцію проводили на плівках молібдену завтовшки 17-70 нм, мінімальний розмір абляційних областей становить близько 250 нм при робочій довжині хвилі безперервного лазерного випромінювання 488 нм (рис. 2). Видно, що записані зображення мають низьку якість через вибуховий характер абляції (зокрема, нерівні краї та сильну нестабільність), тому такий метод не дає змоги формувати якісні ДОЕ.

а) б)

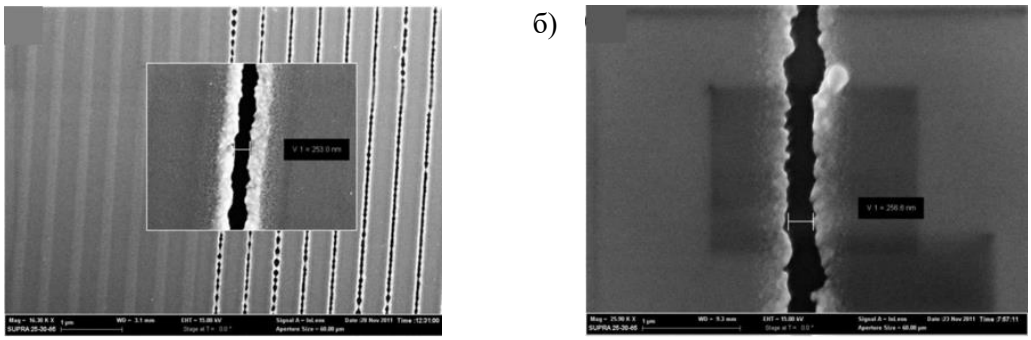
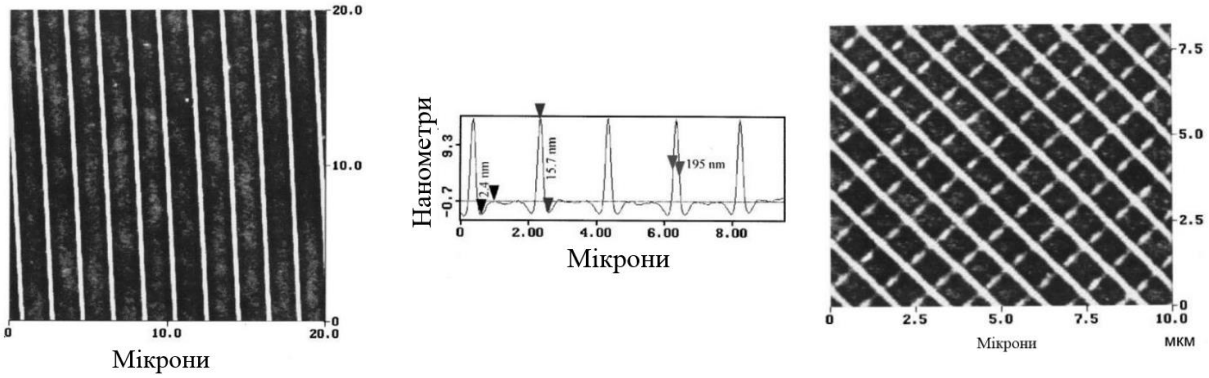


Рисунок 2 – Зображення наскрізної абляції плівки: а) СЕМ-зображення абляції на плівці молібдену після лазерного запису зі збільшенням потужності запису 40-80 мВт; б) збільшений фрагмент записаної структури [9]

Термохімічний метод запису з наскрізним окисленням (по всій товщині плівки) дає змогу одержати нанометрові розміри елементів із значно меншими дефектами записаних структур, ніж абляційний метод [10]. Завдяки негативному зворотному зв'язку в нелінійному оптотермохімічному

процесі, індукованому лазерним впливом на плівку металів, розширюється застосування термохімічного методу для формування та збільшення просторової роздільної здатності різноманітних оптичних елементів [11]. Результати перших експериментальних досліджень [6] показали перспективність застосування лазерного термохімічного запису на тонких плівках титану з утворенням стабільного діоксиду титану (TiO_2). В експериментах використовувалися плівки титану товщиною h = 6-15 нм, нанесені на скляну підкладку, аргоновий іонний лазер, що працює в безперервному режимі з максимальною потужністю P = 6,75 мВт, фокусуючий випромінювання на поверхні плівки титану з мінімальним діаметром плями D = 500 нм і зі швидкістю сканування V = 1,1 мм/с, де режим наскрізного окиснення відповідає формуванню найвужчих оксидних розподілів. Решітки записано з періодом до 250 нм, структури яких прозорі, що видно за допомогою оптичного мікроскопа в прохідному білому світлі (рис. 3, а).



а) б) в)

Рисунок 3 – Зображення решіток: а) атомно-силова мікроскопія (АСМ) записаних смуг; б) відповідний розподіл висоти шару оксиду на плівці титану завтовшки h = 15 нм; в) двовимірна сітка, написана на плівці титану завтовшки h = 6 нм, P = 6,75 мВт і V = 1,1 мм/с [6]

Ширина треків (FWHM) практично не залежить від швидкості сканування і становить 165-220 нм, що значно менше за розмір лазерної плями (у 2-3 рази) і половину довжини хвилі випромінювання (рис. 4, б). В опромінених областях пропускання збільшилося з 6,3 % до більше, ніж 60 %, що відповідає максимальному контрасту термохімічного зображення до 90 %. Прозорість записаних треків та їхня висота, що добре корелюють зі співвідношенням молярних об'ємів TiO_2 та $Ti\left(H_{ox}/h \approx M_{TiO_2}/M_{Ti} = 1{,}78\right)$, практично не залежать від потужності лазера і швидкості сканування. Це свідчить про повне зсувне окислення металевої плівки у записаних областях. Фізичний механізм лазерного термохімічного запису з утворенням прозорих оксидів, пов'язаного зі зменшенням поглинаючої здатності плівки, ілюструється записом другої серії треків перпендикулярно до першої (рис. 3, в). Першою була написана серія треків від верхнього лівого краю до нижнього правого. Друга серія треків у місцях перетину з раніше записаними смугами першої серії поглинання випромінювання плівкою різко зменшувалася. Поблизу цих ділянок підвищення температури було недостатнє для активації реакції окислення. Тому треки другої серії обриваються біля вузлів сітки.

Для демонстрації зменшення розподілу температури в центрі лазерної плями через більше пропускання окисленої області було виміряно поверхневу температуру за допомогою тепловізора FLIR Titanium 520M під час запису на плівці титану завтовшки h = 60 нм імпульсним лазерним випромінюванням (довжина хвилі λ = 1070 нм, тривалість імпульсу τ = 100 нс, частота проходження імпульсів f = 50 кГц, швидкість сканування V = 1 мм/с) [12]. Спостерігали зниження температури в центральній зоні лазерної плями через сильне пропускання окисленої області, нагрівання плівки відбувалося переважно на передньому фронті скануючого пучка (рис. 4).

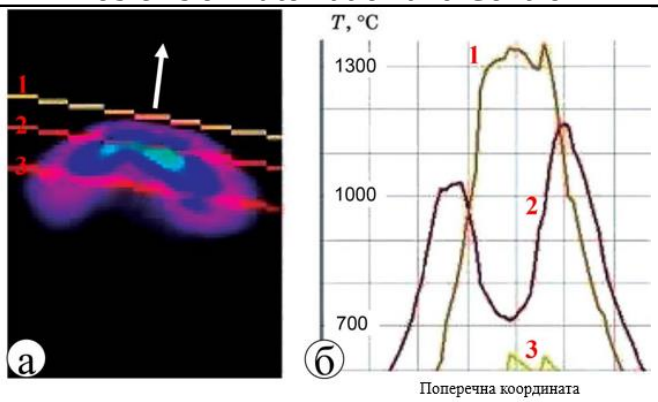


Рисунок 4 – а) розподіл температури на поверхні плівки титану;
б) відповідні поперечні профілі температури в різних положеннях, стрілка вказує напрямок сканування [11]

Таким чином, експериментальними дослідженнями [11, 12] показано, що зміна оптичних характеристик окисленої області може відігравати ключову роль в обмеженні мінімальних розмірів записаних структур. Однак нез'ясованим залишається вплив кінетики окиснення і зменшення поглинаючої здатності плівки на геометричні розміри (ширину і товщину) шару оксиду.

У роботі [13] було продемонстровано можливість отримання нанократерів діаметром до 40 нм термохімічним лазерним методом, що є набагато меншим за дифракційну межу використаної лазерної системи (360 нм). За допомогою імпульсного лазерного випромінювання з довжиною хвилі 532 нм нанократери були записані на плівці титану товщиною 40 нм, нанесеній на скляну підкладку товщиною 0,17 мм. Показано, що діаметр нанократерів лінійно залежить від потужності лазера за емпіричною формулою(1):

$$d_P = k_1\left(P - P_{threshold}\right), \tag{1}$$

де k_1= 50 нм/мВт і $P_{threshold}$ – порогова потужність випромінювання при абляції (10 мВт).

Крім того, діаметр нанократерів також має приблизно лінійну залежність (2) від тривалості лазерного імпульсу:

$$d_\tau = k_2\left(\tau - \tau_{threshold}\right), \tag{2}$$

де k_2= 0,18 нм/нс, і $\tau_{threshold}$ – порогова тривалість імпульсного випромінювання під час абляції (200 нс).

Ці залежності є важливими для практичних застосувань, оскільки вони дають ефективний метод для контролю геометричних розмірів (ширина і висота) записаних структур. Фізичним механізмом утворення нанократерів є лазерне окиснення та подальша абляція, що відбувалася лише в центральній області гауссового розподілу інтенсивності випромінювання при високій температурі, що перевищує поріг плавлення титану, на тлі окислених областей із температурою, меншою за цей поріг (рис 5, а, в).

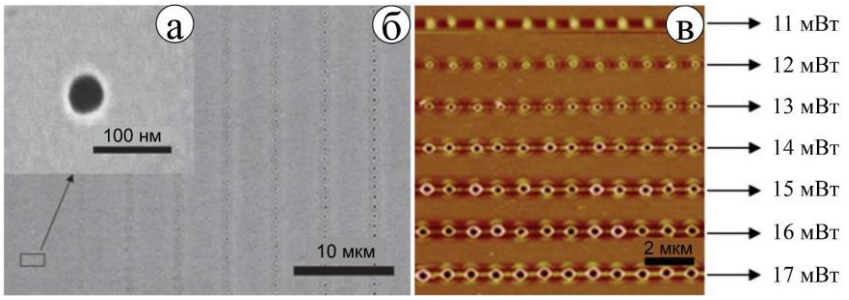


Рисунок 5 – а) збільшене зображення нанократера за потужності 10 мВт;
б) СЕМ-зображення нанократерів за умови збільшення потужності випромінювання 10-17мВ і тривалості імпульсу τ = 200 нс; в) АСМ-зображення нанократерів [13]

Для вивчення та демонстрації прозорості оксидів титану у створенні дифракційних оптичних елементів (ДОЕ), що утворюються під час лазерного термохімічного запису, скористалися методами оптичної мікроскопії та спектрального мікрокомбінаційного розсіювання світла для дослідження

зміни хімічних складових залежно від потужності лазерного випромінювання [13]. Треки записувалися на плівках Ti товщиною 50 нм при потужності випромінювання від 1 мВт до 13 мВт (тривалість імпульсу 1 мс). Жодних очевидних змін не з'являлося при потужності випромінювання, меншій за 3 мВт (оскільки при цьому максимальна температура мала значення, недостатнє для окиснення титану), у той час як при збільшенні потужності від 3 мВт до 13 мВт треки стали прозорими (оксиди формуються і зростають).

Лазерний термохімічний метод також можна використати для виготовлення прозорих структур у вигляді нанострічки на тонких плівках титану товщиною 40 нм (рис. 6), що можуть застосовуватися в оптичних хвилеводах, датчиках, лазерах. Після експозиції лазерним випромінюванням плівка титану видалялася в процесі вологого травлення через різну швидкість травлення титану та його оксиду (рис. 6, а-г). Коли час травлення досить великий (наприклад, 5 хвилин), скло під нанострічкою TiO_2 може повністю витравитися, що призводить до скручування нанострічки, оскільки вона повністю вивільнилася від підкладки. Довжина нанострічок може досягати до кількох сантиметрів, а їх ширина може змінюватися від 150 нм до кількох мікрометрів.

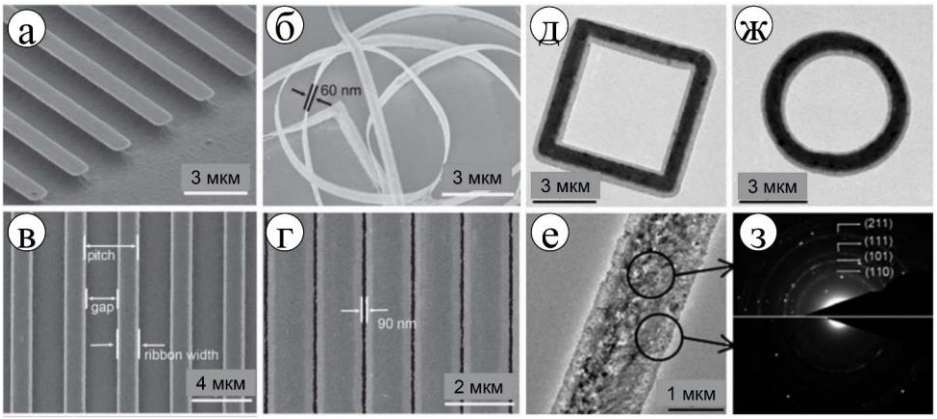


Рисунок 6 – а) СЕМ-зображення масивів частково підвішених нанострічок, протравлених у розчині HF упродовж 3 хв; б) СЕМ-зображення нанострічок, що скручуються, після травлення впродовж 5 хв; в-г) СЕМ-зображення нанострічок із шириною зазору 2 мкм і 90 нм відповідно; д-ж) квадратні та круглі структури нанострічок на ПЕМ; е) збільшене зображення одного боку квадратної стрічкової структури; з) результати дифракції електронів на вибраних областях, які показують, що нанострічки складаються з рутилу TiO_2 [14]

За допомогою лазерного термохімічного методу було успішно отримано стрічки нанометрової ширини, які мають значно меншу довжину хвилі лазерного випромінювання (532 нм) та дифракційну межу оптичної системи (близько 300 нм). Відзначено, що більш вузькі нанострічки можуть бути виготовлені шляхом оптимізації потужності випромінювання та товщини металевої плівки, а для створення різних мікро-і наноелементів зміною потужності лазерного випромінювання. Щоб зрозуміти природу отриманих нанострічок, використовувався метод просвічувальної електронної мікроскопії (ПЕМ) для аналізу кристалічної структури. Різниця в яскравості у верхній та нижній частинах (рис. 6, з) дифракції електронів на вибраних областях (рис. 6, е) показує, що нанострічки складаються з полікристалічного рутилу TiO_2.

Необхідно зазначити, що титан (Ti) не є єдиним металом, що утворює оптично прозорий оксид (TiO_2), інші метали в перехідній (V, Zr, Hf та інші) і постперехідній групах (Al, In, Sn та інші) також формують оптично прозорі оксиди при лазерному впливі, щоб знайти відповідний металевий матеріал плівки в перехідній групі (Ti, Zr, Ta, V, Mo) для наскрізного лазерного запису з високою роздільною здатністю і високим пропусканням. За допомогою кругової лазерної записувальної системи CLWS-300IAE [15] експериментально показано, що, крім плівки Ti, плівка цирконію (Zr) найбільше підходить для наскрізного лазерного окислювання. Однак потрібен правильний вибір плівки і параметрів експонування, оскільки знебарвлення металевої плівки може призвести до утворенню самоіндуційних квазіперіодичних наноструктур. При збільшенні потужності лазера прозорість плівки збільшується, і треки мають досить хорошу однорідність (рис. 7, а, б). При аналізі мікрораманівських спектрів структур, записаних під час безперервного лазерного нагрівання, з'ясувалося, що в основі треків лежить монохромокринний оксид цирконію ZrO_2, що утворюється при температурі менше 1170 °C (піки 335, 385 і 475 $см^{-1}$ на рисунку 7, г).

Мінімальна ширина записаних треків становила близько 300 нм, що в 2,3 рази менше діаметра лазерної плями на поверхні плівки цирконію (700 нм), а максимальний контраст зображення наближався до 100 %.

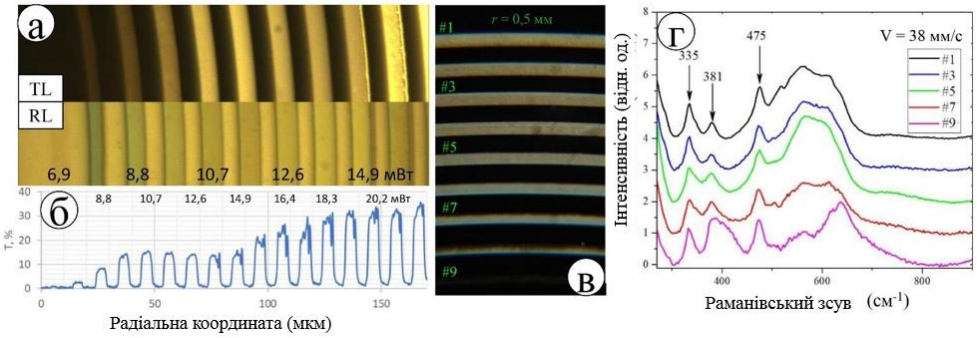


Рисунок 7 – а) мікрофотографія записаних смуг на плівках цирконію Zr товщиною 110 нм при швидкості сканування 38 мм/с під дією безперервного лазерного випромінювання довжиною хвилі 532 нм; б) відповідне пропускання записаних треків за потужності випромінювання від 6,9 мВт до 22,1 мВт [15]; в-г) тестові записані треки та відповідні раманівські спектри за різних потужностей лазерного випромінювання [15]

Серед металів у постперехідній групі індій (In) і олово (Sn) також є перспективними матеріалами для формування оптичних девайсів, оскільки їхні оксиди In_2O_3 і SnO_2 широко застосовують у фотоелектричній промисловості завдяки їхній прозорості. Олово має 3 відносно стабільні оксиди (тетрагональний t-SnO, орторомбічний o-SnO_2 та тетрагональний t-SnO_2) та аморфну структуру a-SnO_x, що оптично прозорі в широкому діапазоні видимого ближнього ультрафіолетового випромінювання, але серед цих оксидних структур найбільш прозорим є t-SnO_2, за нею слідує o-SnO_2 [16]. У той же час індій має тільки один стабільний оксид In_2O_3, який має високу прозорість у видимому діапазоні і менш прозорий в ближньому ультрафіолетовому діапазоні. На рисунку 8, (а-в) показані типові напівтонові маски, записані на тонких плівках Sn товщиною 20 нм випромінюванням з довжиною хвилі 532 нм і тривалістю імпульсу 1 мс.

Плівки олова (та індію) ставали прозорими під впливом імпульсного лазерного випромінювання у повітрі (для плівок олова a-SnO_x утворювався при впливі імпульсів тривалістю, меншою за 1 мкс, і суміш t-SnO + o-SnO_2 + t-SnO_2 при імпульсах тривалістю, більшою за 10 мкс, або безперервним випромінюванням, In утворював єдиний стабільний оксид In_2O_3 за будь-якої тривалості імпульсу лазерного випромінювання [17, 18, 19]). В опромінених областях пропускання (П) збільшується від 19 % до 83 % при збільшенні густини енергії лазера від 9 до 36 Дж/мм^2, при цьому контраст зображення становив близько 77 % (рис. 8, е).

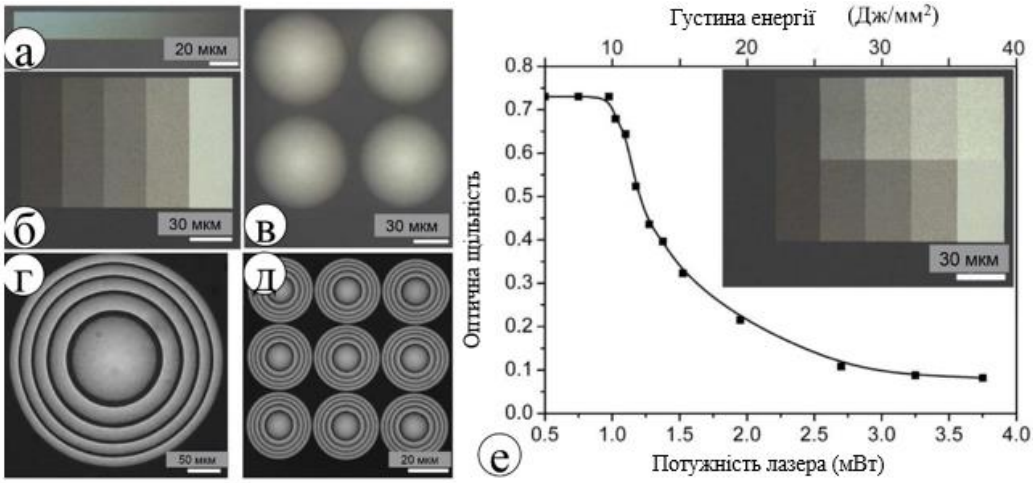


Рисунок 8 – а-в) оптична мікроскопія набору типових напівтонових масок на плівках Sn [17]; г-д) оптичні зображення напівтонових картин мікролінз Френеля, виготовлених із плівки Ковалева завтовшки 20 нм [17]; е) залежність оптичної густини від потужності лазерного випромінювання при тривалості імпульсу 1 мс [17]

З цього випливає, що можна отримати необхідну прозорість у ділянці впливу випромінювання на плівках олова та індію за допомогою регулювання потужності лазерного випромінювання. Крім того, геометрична характеристика (ширина і висота) оксидних структур також змінювалася залежно від потужності лазера. Під час лазерного запису на тонкій плівці олова товщиною 12 нм формувалися оксидні структури з мінімальним розміром до 200 нм, що менше за дифракційну межу оптичної системи 532 нм з лінзою об'єктива (NA= 0,95) [17].

Таким чином, результати вищевказаних експериментів показують велику перспективність одноетапного лазерного запису оптичних елементів з високою роздільною здатністю і високим контрастом термохімічного зображення. Необхідно підкреслити, що саме внаслідок нелінійності температурної залежності швидкості окиснення (3) швидкість реакції експоненціально залежить від температури плівки T:

$$dH_{ox}/dt \approx \exp(-T_a/T), \quad (3)$$

де H_{ox} – товщина шару оксиду;

T_a – активаційна енергія окиснення, виражена в Кельвінах) і негативного опто-термохімічного зворотного зв'язку.

Збільшення товщини оксидного шару призводить до зменшення поглинальної здатності плівки, що, своєю чергою, зменшує температуру в центрі плями, і тоді швидкість окиснення зменшується), ширина записаної структури стабілізується та обмежується під час впливу лазерного випромінювання до значень, менших за розміри опроміненої ділянки та навіть за довжину хвилі випромінювання, тому визначення закономірностей утворення мінімальних розмірів записаних структур із врахуванням нелінійних опто-термохімічних зворотних зв'язків є головним завданням у даній кваліфікаційній роботі.

Висновки. Розглянуто сучасні експериментальні дослідження лазерного термохімічного запису при скануванні безперервним та імпульсним сфокусованим пучком на поверхні різних металевих плівок. В результаті проведеного огляду було виявлено можливість отримання елементів термохімічного зображення з розмірами, меншими за розмір опроміненої області та розміру, що відповідає дифракційній межі оптичної системи і визначається експоненціальною залежністю швидкості окислення від температури та присутністю опто-термохімічних зворотних зв'язків у фізичному процесі формування термохімічного зображення. При цьому область термохімічного зображення відповідає центральній частині гауссового розподілу оптичної інтенсивності лазерного випромінювання. Формування структур із субмікронними розмірами елементів можливе також методом абляції плівки, але через вибуховий характер абляції такий метод не підходить для якісного запису ДОЕ та інших оптичних елементів. Наведено деякі приклади формування прозорих структур, що утворюються при дії лазерного випромінювання, такі як оптичні елементи, мікролінзи Френеля, наностріччи в оптичних хвилеводах, та можливість виготовлення напівтонових фотошаблонів зі змінною прозорістю з високою роздільною здатністю. При дослідженні лазерного термохімічного запису різних металевих плівках, що у перехідної групі (Ti, Zr, Ta, V, Mo), з утворенням оптично прозорих оксидів, крім плівки титану (Ti) плівка цирконію (Zr) найбільше підходить для запису ДОЕ. Для плівок металів, що знаходяться в постперехідній групі (Al, In, Sn, та ін), індій (In) і олово (Sn) є перспективними матеріалами для формування напівтонових фотошаблонів через високу прозорість їх оксидів. Рівень прозорості залежить переважно від хімічного складу записаних структур, що у свою чергу визначається параметрами лазерного запису. Зміна прозорості складових оксидів при високій температурі відіграє істотну роль у визначенні режимів запису. Крім того, режим наскрізного окислення плівки поодиноким імпульсом складно досяжний і здійснювався тільки при тривалому впливі імпульсами тривалістю від декількох мікросекунд до мілісекунд.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Зайцев Р. В., Кіріченко М. В., Зайцева Л. В. Методи дослідження структури тонких плівок: підручник. Харків: ФОП Бровін О. В., 2021. 320 с.

2. Поп М. М., Біланич В. С. Фізика та технології наноструктур: навч. посіб. Ужгород: ДВНЗ «УжНУ», 2024. 104 с.

3. Діденко Ю. В., Татарчук Д. Д. Основи технології виготовлення елементів мікро- та наносистемної техніки: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 113 с.

4. Лобур М., Мельник М. Основи мікросистемих пристроїв: навч. посіб. URL:

http://cad.lp.edu.ua/project/b3.pdf (дата звернення 05.09.2024).

5. Теслюк В., Зелінський А., Каркульовський В. Розширене проєктування мікросистемних пристроїв: навч. посіб. URL: http://cad.lp.edu.ua/project/m6.pdf (дата звернення 08.09.2024).

6. Електрохімія сьогодення: здобутки, проблеми та перспективи: колективна монографія. Київ: МПБП «Гордон», 2021. 191 с.

7. Однодворець Л. В., Пазуха І. М., Лукавенко І. М. Оптоелектронні і лазерні системи в електроніці та медицині: навч. посіб. Суми: Сумський державний університет, 2022. 127 с.

8. Interface design for NT-MDT scanning probe microscope control software. Multidisciplinary Design Studio | Graphic Design Firm | Art. Lebedev Studio. URL:https://www.artlebedev.com/nt-mdt/nova/ (дата звернення 10.09.2024).

9. Обробка та аналіз зображень у скануючій зондовій мікроскопії: ключові аспекти та рецепти. URL: https://www.ntmdt-si.com/resources/webinars/image-processing-and-analysis-in-scanning-probe-microscopy (дата звернення 12.09.2024).

10. ACADEMIA – NT-MDT. NT-MDT. URL: https://ntmdt.nl/home/products/ ntegra-academia/ (дата звернення 15.09.2024).

11. Загородній В. В. Локальні методи досліджень. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28054/1/Lokalni_metody_doslidzhen.pdf (дата звернення 15.09.2024).

12. Однодворець Л. В., Пазуха І. М. Матеріали і компоненти функціональної електроніки: навч. посіб. Суми: Сумський державний університет, 2020. 196 с.

13. Проценко І. Ю., Однодворець Л. В.Технологія одержання і фізичні властивості плівкових матеріалів та основи мікроелектроніки (практикуми): навч. посіб. Суми: Сумський державний університет, 2020. 231 с.

14. Афанасьєва О.В., Лалазарова Н.О., Федоренко Є.П. Лазерна поверхнева обробка матеріалів: монографія. Харків: ФОП Панов А. М., 2020. 100 с.

15. Пупань Л. І. Лазерні технології у машинобудуванні: навч. посіб. Харків: НТУ «ХПІ», 2020. 109 с.

16. Suzuki A. Advances in Optics and Exposure Devices Employed in Excimer Laser/EUV Lithography. *Handb. Laser Micro- Nano-Engineering*. Springer, Cham, 2020. P. 1-42.

17. Matloud S., Amini P., Rostami A. Switchable Multi-color Solution Processed QD-laser. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. P. 5273.

18. Денисюк В. Ю., Кібиш О. Д. Аналіз технологій запису зображень на тонких плівках. *Фізика і хімія твердого тіла: стан, досягнення та перспективи*: матер. VIII Міжнар. наук.- практ. конф. (м. Луцьк, 18-19 жовт. 2024 р.). Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2024. С. 129-130.

19. Денисюк В. Ю., Кібиш О. Д. Особливості лазерного термохімічного запису в інтерференційному полі. *Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку*: матер. VI-ї Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Луцьк, 23-25 жовт. 2024 р.). Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2024. С. 42-43.

УДК 681.1; 681.2; 621.7; 621.8

В. П. Симонюк, П. Р. Мартинюк, В. О. Палій
Луцький національний технічний університет
e-mail: v.symonyuk@lntu.edu.ua

ДО ПОСТОБРОБКИ 3D-ДРУКОВАНИХ ВИРОБІВ ТА КОРИСНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ АБРАЗИВНИХ І ВІБРАЦІЙНИХ ОПЕРАЦІЙ

У статті проаналізовано переваги сучасного стану 3D-друку за різними технологіями. Можливість друкувати велику кількість якісних деталей за короткий проміжок часу є основною перевагою цих технологій. У свою чергу, якість і зовнішній вигляд 3D-друкованого об'єкта часто залежить від етапів постобробки. Постобробка не тільки покращує естетику друкованої частини, але й покращує її механічні властивості та відповідає промисловим вимогам.

Однією з основних задач постобробки є покращення зовнішнього вигляду надрукованих об’єктів. Адже, процес 3D-друку може створити видимі лінії шару на поверхні деталі, що погіршує її загальну естетичну якість. Але такі методи обробки, як шліфування, полірування та фарбування, можуть ефективно усунути або мінімізувати ці лінії, що призведе до більш гладкого та професійного покриття.

Механічне вібраційне шліфування - це техніка постобробки, яка передбачає видалення матеріалу з поверхні 3D-друкованої деталі за допомогою абразивних матеріалів. Цей метод використовується для згладжування шорстких поверхонь, видалення ліній розшарування та усунення будь-яких плям або недосконалостей, що забезпечує більш привабливу та професійну обробку деталей.

Ключові слова: технологія 3D-друку; постобробка; шорсткість; шліфування; вібрація; мілі-, мікро- та наносистемна техніка.

V. P. Simonyuk, P. R. Martynyuk, V. A. Paliy. To the post-processing of 3D-drukovanikh products and the usefulness of the use of abrasive and vibration operations.

The article analyzes the advantages of the current state of 3D-druku by various technologies. The ability to print a large number of high-quality parts in a short period of time is the main advantage of these technologies. In turn, the quality and appearance of 3D-drukovanogo object often depends on the stages of post-processing. Post-processing not only improves the aesthetics of the printed part, but also improves its mechanical properties and meets industrial requirements.

One of the main tasks of post-processing is to improve the appearance of printed objects. After all, the 3D-druku process can create visible layer lines on the surface of the part, which worsens its overall aesthetic quality. But treatments such as grinding, polishing and painting can effectively eliminate or minimize these lines, resulting in a smoother and more professional finish.

Mechanical vibration grinding is a post-processing technique that involves removing material from the surface of a 3D-drukovanoї part using abrasive materials. This method is used to smooth rough surfaces, remove delamination lines and eliminate any stains or imperfections, which provides a more attractive and professional processing of parts.

Keywords: 3D-druku technology; post-processing; roughness; grinding; vibration; milli-, micro- and nanosystem techniques.

Постановка проблеми. За допомогою 3D-друку, на сьогодення, є можливості створювати вироби нестандартні та будь-якої складності із високою швидкістю та точністю. Особливо, як перспективні, ці методи необхідно розглядати та розвивати у напрямку галузей пов’язаних із виготовленням виробів міліметрового та мікрометрового розмірного діапазону.

Виготовлені за допомогою 3D-друку вироби не завжди можуть відповідати кінцевим вимогам, що до них висуваються. Це стосується і зовнішніх характеристик виробів.

Різні технології 3D-друку, такі як моделювання синтезу (FDM), стереолітографія (SLA) і вибіркове лазерне спікання (SLS), вимагають спеціальних методів постобробки для розв'язання таких проблем, як лінії шару, контрольні позначки та шорсткі поверхні. У свою чергу, якість і зовнішній вигляд 3D-друкованого об'єкта часто залежить від етапів постобробки. Постобробка не тільки покращує естетику друкованої частини, але й покращує її механічні властивості та відповідає промисловим вимогам.

Однією з основних задач постобробки є покращення зовнішнього вигляду надрукованих об’єктів. Так, процес 3D-друку SLS може створити видимі лінії шару на поверхні деталі, що погіршує її загальну естетичну якість. Але такі методи обробки, як шліфування, полірування та фарбування, можуть ефективно усунути або мінімізувати ці лінії, що призведе до більш гладкого та професійного покриття.

Також, відповідність промисловим вимогам є важливим аспектом постобробки. У таких галузях, як аерокосмічна, автомобільна та медична, часто діють суворі правила та стандарти щодо якості та продуктивності деталей. Виробники зазвичай використовують ASME Y14.36, B46.1 або ISO 21920-1 для визначення текстури поверхні, а саме, шорсткість, хвилястість, шар. Тож, технології постобробки, такі як шліфування, полірування, парове згладжування та покриття допомагають забезпечити відповідність 3D-друкованих деталей цим стандартам, що робить їх придатними для різноманітних застосувань.

Лінії шарів є поширеною проблемою під час 3D-друку, особливо при використанні моделювання плавленого осадження (FDM) і відповідних методів екструзії. Ці лінії є результатом процесу пошарового друку та можуть негативно вплинути на естетику та якість поверхні надрукованої частини. Такі методи обробки, як шліфування та полірування, можуть ефективно зменшити або усунути ламінацію, що призведе до більш гладкого та професійного покриття.

Опорні мітки є ще однією поширеною проблемою, яка виникає під час 3D-друку деталей. Під час таких процесів друку, як FDM і SLA, необхідні опори, щоб запобігти руйнуванню консольних

конструкцій. Однак, коли опори видаляються, вони можуть залишити сліди на поверхні деталі. Такі методи, як шліфування, обпилювання та хімічна обробка, можуть допомогти зменшити видимість цих слідів і створити чисте покриття.

Точність розмірів може мати вирішальне значення для 3D-друку, особливо для деталей, які повинні щільно прилягати до інших компонентів. Через такі фактори, як усадка матеріалу та діаметр сопла, надрукована частина може не відповідати необхідним специфікаціям розмірів або не входити в допустимий діапазон допусків. Методи постобробки, такі як постмеханічна обробка, можуть бути використані для уточнення розмірів 3D-друкованої деталі, щоб забезпечити її належну посадку та функціонування в призначеному застосуванні.

Шорстка текстура поверхні є ще однією поширеною проблемою деталей, надрукованих на 3D, особливо якщо порівнювати з альтернативними процесами, такими як формування або лиття, які можуть виробляти винятково гладкі деталі. Шорстка текстура може з'явитися з багатьох причин. Наприклад, у селективному лазерному спіканні (SLS) це може бути результатом частково розплавлених частинок порошку, які прилипають до поверхні деталі. Техніки підготовки поверхні, такі як струменева та вібраційна обробка абразивом, полірування, в тому числі вільним абразивом, можуть допомогти отримати більш гладкі та однорідні поверхні на цих друкованих деталях.

Постановка завдання. Різні технології 3D-друку мають різні характеристики та вимагають специфічних методів постобробки. Розуміння унікальних вимог до кожної техніки має вирішальне значення для вибору відповідного методу постобробки та досягнення бажаних результатів. Допоміжними, а інколи і вирішальними при постобробці, є операції абразивної, вібраційної та їх спільної дії.

Виклад основного матеріалу. Існує велика кількість технологічних операцій задля покращення зовнішньої структури та зовнішнього вигляду виробів. Цим технологічним операціям зазвичай передують операції підготовки поверхні, у тому числі, шліфування.

Фарбування є загальноприйнятою технологічною операцією постобробки для SLS-друкованих деталей, особливо виготовлених з нейлону. Завдяки пористій структурі SLS-деталей вони легко вбирають барвники, забезпечуючи широкий діапазон кольорів. Процес фарбування передбачає занурення деталі в нагрітий розчин барвника на деякий час.

Ґрунтовки та фарби є ще одним методом, який зазвичай використовують для покращення зовнішнього вигляду деталей, надрукованих FDM. Після шліфування на деталь можна нанести ґрунтовку, щоб заповнити дрібні дефекти та створити рівномірну пофарбовану поверхню. Після висихання ґрунтовки деталь можна пофарбувати акриловою, емалевою або аерозольною фарбою, в залежності від бажаної обробки та зовнішнього вигляду.

Шліфування та полірування широко використовуються для покращення якості поверхні SLS-друкованих деталей. Хоча деталі SLS зазвичай мають грубішу поверхню, ніж деталі SLA або FDM, абразивна обробка може допомогти усунути недоліки та створити більш однорідну поверхню. Щоб досягти бажаної гладкості поверхні, можна використовувати абразивний інструмент з меншою зернистістю. Для металевих частин SLS можна використовувати полірування для отримання дзеркального блиску.

Для металевих деталей, надрукованих методом SLS, термічна обробка є важливим етапом постобробки для покращення механічних властивостей і зняття внутрішньої напруги. Залежно від конкретних вимог до деталі, для зміни внутрішньої структури металу з метою покращення міцності, пластичності або в'язкості можна використовувати такі термічні обробки, як відпал, загартування або відпуск. Затим бажано піддати поверхню деталі абразивному доведенню.

Видалення опори - ще один важливий етап у постобробці деталей, надрукованих за технологією SLA. На відміну від 3D-принтерів FDM із подвійною екструзією, принтери SLA завжди використовують той самий матеріал, що й друкована частина для опор, і для їх видалення потрібно обережно розрізати або зламати, щоб не пошкодити деталь. Після видалення опори будь-які сліди, що залишилися, можна відшліфувати або зачистити за допомогою інших абразивних інструментів, щоб забезпечити чисту поверхню.

Ґрунтування та фарбування є важливими техніками постобробки, які покращують зовнішній вигляд, довговічність і стійкість до УФ-променів деталей, надрукованих на 3D принтері. Ці методи не тільки підвищують візуальну привабливість деталей, але й захищають їх від зносу та впливу навколишнього середовища.

Для покращення адгезії поверхні бажано використовувати легке шліфування. Після того, як деталь буде належним чином підготовлена, можна нанести відповідну ґрунтовку, наприклад, автомобільну або спеціально розроблену для 3D-друку.

Для деталей, надрукованих за допомогою таких технологій, як селективне лазерне спікання (SLS) або струменеве напилення, видалення опор може передбачати видалення надлишку порошку або сполучного матеріалу з частини. У цих випадках для видалення незв'язаного матеріалу можна використовувати такі методи, як гідроабразивне, вібраційне або ультразвукове очищення.

Відпал - це метод постобробки, який передбачає контрольоване нагрівання й охолодження надрукованих на 3D-принтерах деталей для покращення їхніх механічних властивостей, стабільності розмірів і загальної продуктивності. Процес особливо корисний для деталей, виготовлених із термопластичних матеріалів, таких як деталі, надруковані з PLA, ABS або PETG по технології FDM, і деталі надруковані з нейлону по технології SLS.

Термічна обробка є важливою технікою подальшої обробки металевих 3D-друкованих деталей, оскільки вона може значно покращити їхні механічні властивості, такі як міцність, твердість, пластичність, а також стійкість до спрацювання та корозії.

Гартування та відпуск - це процеси термічної обробки металевих матеріалів, таких як вуглецева та інструментальна сталь, для підвищення їх твердості, міцності та зносостійкості.

Після термічних обробок на поверхнях виробів утворюються небажані осередки результату впливу підвищених температур. Їх зазвичай видаляють методами абразивного оброблення.

Під час металевого 3D-друку часто потрібні опорні конструкції, щоб утримувати деталь на робочій платформі, підтримувати виступи та розсіювати тепло під час процесу друку. Після завершення деталі ці опори необхідно видалити, щоб отримати остаточну геометрію.

Фрезерування, токарна обробка та шліфування є звичайними процесами обробки, які використовуються для подальшої обробки металевих 3D-друкованих деталей.

Шліфування - це широко використовувана техніка постобробки, яка передбачає видалення матеріалу з поверхні 3D-друкованої деталі за допомогою абразивних матеріалів. Цей метод використовується для згладжування шорстких поверхонь, видалення ліній розшарування та усунення будь-яких плям або недосконалостей, що забезпечує більш привабливу та професійну обробку деталей.

Процес шліфування зазвичай починається з використання більш грубого абразиву для видалення великих недоліків, а потім з дрібнішим зерном для більш гладкої поверхні. Під час шліфування важливо використовувати послідовні рухи та рівномірний тиск, щоб запобігти утворенню нових дефектів поверхні.

У деяких випадках можна використовувати вологе шліфування та полірування для досягнення більш гладкої поверхні. Вологе шліфування та полірування передбачають використання води та миючих засобів або мастильних матеріалів для зменшення тертя та виділення тепла. Техніка особливо ефективна для полірування прозорих або напівпрозорих деталей, надрукованих на 3D, оскільки допомагає покращити їх прозорість і оптичні властивості.

До абразивних та полірувальних методів постобробки слід віднести найбільш поширені: для одиничного та дрібносерійного виробництва – це, струменева обробка, різної зернистості наждачний папір, напилки, абразивні і повстяні круги та ін.; до більш серійного та масового виробництва – це, спеціалізоване обладнання, автоматизовані лінії та верстати, вібраційні абразивні верстати та ін.

Окрім вище наведеного, можливе застосування в якості абразивного та полірувального матеріалу подрібнений лом абразивних кругів, кремнієвий пісок, металеві та скляні кульки, подрібнена шкіра, дубові кубики та багато інших матеріалів, які мають можливість вирівнювати або вигладжувати певні нерівності, подряпини, злами та ін. на поверхні оброблюваних виробів.

Створення новітніх технологій 3D-друку та постобробки виробів, дасть поштовх у виробництві виробів мілі-, мікро- та насистемної техніки.

Висновки. Технології пошарового синтезу, адитивні технології або 3D-друк - сьогодні один із найбільш динамічних напрямів виробництва. І в цьому процесі важливу роль відіграє постобробка. Вона полягає у покращенні якості, зовнішнього вигляду та функціональності деталей, надрукованих на 3D принтері.

З розвитком 3D-друку з'явилися різноманітні методи постобробки, щоб задовольнити різноманітні потреби різних галузей промисловості. У багатьох випадках абразивні методи обробки відіграють вирішальну роль у підготовці виробів до проведення фінішних операцій із оздоблення і завершального, декоративного та естетичного вигляду. Такі операції зазвичай є допоміжними, але інколи і вирішальними.

Механічне вібраційне шліфування - це техніка постобробки, яка передбачає видалення матеріалу з поверхні 3D-друкованої деталі за допомогою абразивних матеріалів. Цей метод

використовується для згладжування шорстких поверхонь, видалення ліній розшарування та усунення будь-яких плям або недосконалостей, що забезпечує більш привабливу та професійну обробку деталей.

Розуміючи та впроваджуючи належні методи постобробки, інженери та виробники можуть реалізувати потенціал 3D-друку для створення високоякісних виробів міліметрового та мікрометрового розмірного діапазону. Розуміння новітніх технологій, підбір відповідних матеріалів є важливим і перспективним напрямком у створенні мілі-, мікро- та насистемної техніки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1.https://markforged.com/resources/learn/3d-printing-basics/3d-printing-processes/what-is-selective-laser-sintering-sls

2. Симонюк В. П., Тимощук А. А. До технологічних можливостей селективного лазерного спікання. Матеріали XI-ої Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих учених та студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління». м. Луцьк, 30 листопада 2023 року. Випуск 11. Луцьк: ЛНТУ, 2023. С. 299 – 304.

3. https://www.3ds.com/make/solutions/blog/dmls-vs-ebm-differences-and-comparison

4. https://www.selective-lasersintering.com/history-of-selective-laser-sintering/

5. https://themechninja.com/11/sls-printing-advantages-and-disadvantages/

6. https://amfg.ai/2020/01/21/the-evolution-of-sls-new-technologies-materials-and-applications/

7. https://protec3d.de/en/pros-and-cons-of-3d-printing/

8. Симонюк В. П., Тимощук А. А. До технології селективного лазерного спікання. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2023): тези доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 25–26 травня 2023 р.): у 2 т. Т. 1. Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2023. С. 95-97.

УДК 519.6

О. М. Решетило, Ю. С. Повстяна
Луцький національний технічний університет

РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ ПАСИВНОЇ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ ПРИ ЙОГО ОБГОНІ АБО ВИПЕРЕДЖЕННІ

У даній статті проведено аналіз процесу обгону та випередження автомобіля. Розглянута актуальність розробки програмно-апаратного комплексу пасивної системи безпеки легкового автомобіля при його обгоні або випередженні. Розглянуто конструкція та принцип дії системи контролю сліпих зон. Виявлено їх недоліки та вказано можливості та перспективи подальших наукових досліджень у цій сфері.

Ключові слова: розробка, дослідження, програмно-апаратний комплекс, пасивна, система, безпека, легковий автомобіль, обгін, випередження.

O. Reshetylo, Ju. Povstjana. Development of an automated control system for the technological process of car wash wastewater treatment

This article analyzes the process of overtaking and overtaking a car. The relevance of developing a hardware-software complex for a passive safety system for a passenger car when overtaking or overtaking is considered. The design and principle of operation of the blind spot control system are considered. Their shortcomings are identified and the possibilities and prospects for further scientific research in this area are indicated.

Key words: development, research, hardware and software complex, passive, system, safety, passenger car, overtaking, overtaking.

Постановка проблеми. Обгін і випередження на дорогах є одними з найбільш ризикованих маневрів, які вимагають швидкого прийняття рішень і точного оцінювання дорожньої ситуації. Статистика аварій на дорогах свідчить, що значна частина зіткнень і аварій відбувається саме під час обгону, оскільки водії можуть неправильно оцінити відстань, швидкість інших транспортних засобів або не помітити автомобілі в «сліпих зонах».

Розробка пасивної системи безпеки, яка забезпечуватиме моніторинг ситуації на дорозі і попереджатиме водія про потенційні небезпеки, є актуальною через низку ключових факторів:

1. Зростання кількості транспортних засобів і навантаження на дороги.

Із зростанням кількості автомобілів на дорогах збільшується навантаження на дорожню інфраструктуру, що призводить до ускладнення маневрування, зокрема під час обгону і випередження. У таких умовах система, яка може допомогти водієві вчасно розпізнати ризики, є важливою для забезпечення безпеки.

2. Часті аварії через людський фактор.

Людський фактор залишається основною причиною дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Водії можуть не встигати адекватно реагувати на швидкі зміни дорожньої ситуації або помилково оцінювати швидкість інших транспортних засобів під час обгону. Пасивна система безпеки допоможе зменшити ризики, пов’язані з помилками водія, надаючи своєчасні попередження або індикатори небезпеки.

3. Необхідність підвищення безпеки при обгоні.

Обгін є одним із найнебезпечніших маневрів на дорозі, оскільки пов’язаний з перетином зустрічних смуг, що підвищує ризик лобових зіткнень. Важливо, щоб водій мав достатню кількість інформації для прийняття обґрунтованих рішень щодо обгону. Система допоможе знизити ризик таких ситуацій, забезпечуючи додаткові дані про наявність транспортних засобів у «сліпих зонах» або надмірно швидке наближення інших автомобілів.

4. Розвиток технологій автономного водіння та активних систем безпеки.

Із зростанням популярності систем автономного водіння та активних систем безпеки, пасивні системи стають важливою складовою загальної архітектури безпеки автомобіля. Вони доповнюють активні функції, такі як автоматичне гальмування або контроль смуг руху, забезпечуючи більш повну картину навколишньої дорожньої ситуації і допомагаючи знизити ймовірність зіткнень.

5. Підвищені вимоги до безпеки та законодавче регулювання.

Європейські та світові стандарти безпеки стають жорсткішими. Багато урядів вводять нові нормативи щодо обов’язкової наявності певних систем безпеки у нових автомобілях. Пасивні системи, які покращують безпеку при обгоні та випередженні, можуть стати необхідною частиною оснащення транспортних засобів, щоб відповідати цим стандартам.

6. Сучасні технології дозволяють створювати точніші системи.

Прогрес у розвитку сенсорів (лідарів, радарів, камер) та обчислювальних технологій (швидкі процесори, алгоритми машинного навчання) дозволяє створювати більш ефективні і точні системи моніторингу дорожньої ситуації. Впровадження таких технологій у легкові автомобілі сприятиме значному підвищенню рівня безпеки на дорогах.

7. Попит на безпеку серед споживачів.

Споживачі дедалі частіше обирають автомобілі з розширеними системами безпеки, оскільки прагнуть забезпечити максимальний захист для себе та своїх пасажирів. Наявність системи пасивної безпеки підвищує конкурентоспроможність автомобілів на ринку, особливо в умовах зростаючих вимог до комфорту і безпеки транспортних засобів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій даної проблеми.

На сучасному етапі науково-технічного прогресу інтенсивно розвивається автомобільна індустрія, збільшується випуск автотранспортних засобів (АТЗ), відбувається активне зростання транспортних потоків. Конструкції автомобілів стають все більш складними та багатофункціональними. Розробляються більш досконалі системи безпеки і засоби забезпечення комфортного водіння. Забезпечення безпеки руху вимагає від водія постійної та повної інформації про навколишнє оточення, що змінюється, не тільки попереду і позаду автомобіля, але і з обох боків автомобіля, що рухається. Процес такого контролю в умовах високих швидкостей, постійних динамічних змін навколишнього оточення часто виходить за межі фізіологічних можливостей навіть досвідчених водіїв. Все це вимагає активної розробки і впровадження різних систем автоматизації в процеси керування АТЗ. Однією з важливих задач автоматизації є розробка автоматичних систем контролю всіх навколишніх зон автомобіля, включаючи і «сліпі» для водія бокові зони.

Багато аварій відбуваються через те, що дзеркала заднього виду не можуть надати водієві повну картину того, що відбувається позаду і в безпосередній близькості від автомобіля. Автомобілі, що знаходяться в так званій «сліпій» зоні, найчастіше стають причиною дорожньо-транспортної пригоди (ДТП), зокрема попутних зіткнень. Водії часто не бачать позаду себе автомобіль, що починає переміщення в сусідній ряд з метою обгону або випередження. В результаті,

виконуючи перестроювання, передній автомобіль підрізає задній. Водій автомобіля, який виконує обгін, перебуваючи в режимі прискореного руху, не завжди встигає вчасно зреагувати на дану ситуацію. Для моніторингу стану «сліпої» зони бокових дзеркал автомобіля існують різні рішення, шо розроблені як світовими автовиробниками, так і сторонніми виробниками. Основним недоліком таких технічних рішень є їх функціонування виключно в якості систем пасивної безпеки. Вони не надають активної допомоги водієві і виконують лише чисто інформаційну функцію.

На сучасному етапі розвитку автомобільних технологій актуальним є новий рівень систем безпеки автомобіля, що здатні автоматично виконувати функції виявлення та надавати активну допомогу водієві. Таким чином, задача розробки програмно-апаратного комплексу пасивної системи безпеки легкового автомобіля при обгоні або випередженні є актуальною для підвищення безпеки АТЗ і представляє великий науковий інтерес.

Сучасний автомобіль за своєю природою являє собою пристрій підвищеної небезпеки. Враховуючи потенційну небезпеку автомобіля під час його експлуатації, виробники оснащують його засобами, що забезпечують безпечну експлуатацію, яка ґрунтується на взаємодії елементів конструкції автомобіля та різних систем, поєднання яких дозволяє визначити наскільки безпечний автомобіль. Головна мета цього – створення автомобіля, що забезпечує універсальний захист для людей різного зросту і статури, враховуючи ймовірність різних ситуацій на дорозі.

Системи безпеки транспортних засобів підрозділяються на дві категорії: пасивні та активні.

Система пасивної безпеки автомобіля становить сукупність конструктивних елементів, що застосовуються для захисту пасажирів від травм при аварії, що повинна забезпечувати захист не лише пасажирів і конкретного автомобіля, а й інших учасників дорожнього руху.

Системи активної безпеки дозволяють ефективно знизити ймовірність зіткнень на дорогах, включають технології, що допомагають водієві уникнути зіткнення.

Системи пасивної безпеки автомобіля являють собою сукупність вузлів та механізмів, що дозволяють зберегти життя пасажирів і водія під час дорожньо-транспортній події.

Найважливішими компонентами системи пасивної безпеки автомобіля є:

– паски безпеки;
– натягувачі пасків безпеки;
– активні підголовники;
– подушки безпеки;
– конструкція кузова автомобіля, що має бути стійкою до деформації;
– елементи передньої панелі керування;
– рульова колонка;
– аварійний розмикач акумуляторної батареї;
– інші пристрої (система захисту при перекиданні на кабріолеті, дитячі системи безпеки та ін.).

Сучасна система пасивної безпеки автомобіля має електронне управління, що забезпечує швидку та ефективну взаємодію більшості компонентів.

На рисунку 1 приведена спрощена схема системи пасивної безпеки [1].

Кожному учаснику дорожнього руху потрібно слідкувати не лише за тим, що знаходиться попереду автомобіля, а й за усім, що його оточує. У цьому водієві в першу чергу допомагають дзеркала заднього виду. Вони дозволяють бачити все, що відбувається позаду транспортного засобу, та здійснювати складні маневри.

Основним завданням дзеркал заднього виду є:

– забезпечення відповідного огляду для безпечного пересування транспортного засобу під час руху та здійснення маневрів заднім ходом;

– забезпечення водієві високого рівня контролю дорожньої обстановки при здійсненні обгону, випередженні, об’їзду перешкод і т.п.

В залежності від місця розташування, дзеркала заднього виду поділяються на два види: внутрішні (рис. 2), що знаходяться в салоні автомобіля (кріпляться на лобове склом або над ним), та зовнішні (рис. 3), що кріпляться до бічної частини автомобіля (як правило, це передня частина дверей або передні крила кузова автомобіля).

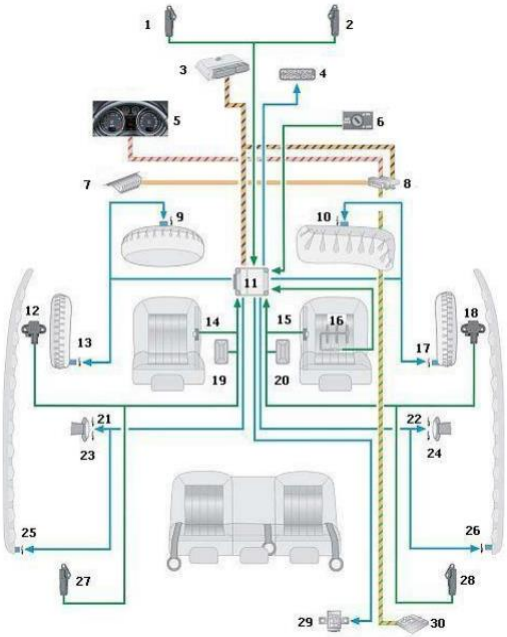


Рисунок 1 – Спрощена схема системи пасивної безпеки автомобіля:
де 1 – фронтальний датчик удару подушки безпеки водія; 2 – фронтальний датчик удару подушки безпеки переднього пасажира; 3 – блок керування двигуном; 4 – контрольна лампа подушки безпеки переднього пасажира; 5 – контрольна лампа попередження про непристебнуті паски безпеки; 6 – вимикач подушки безпеки переднього пасажира; 7 – діагностичний роз'єм; 8 – міжмережевий інтерфейс; 9 – піропатрон подушки безпеки водія; 10 – піропатрон подушки безпеки переднього пасажира; 11 – блок управління системою пасивної безпеки; 12 – датчик удару бічної подушки безпеки водія; 13 – піропатрон бічної подушки безпеки водія; 14 – датчик положення сидіння водія; 15 – датчик положення сидіння переднього пасажира; 16 – датчик зайнятості сидіння переднього пасажира; 17 – бічній піропатрон подушки безпеки переднього пасажира; 18 – бічній датчик удару подушки безпеки переднього пасажира; 19 – вимикач замка паска безпеки водія; 20 – вимикач замка паска безпеки переднього пасажира; 21 – піропатрон натягувача паска безпеки водія; 22 – піропатрон натягувача паска безпеки переднього пасажира; 23 – обмежувач зусилля натягувача паска безпеки водія; 24 – обмежувач зусилля натягувача ременя безпеки переднього пасажира; 25 – піропатрон головної подушки безпеки лівий; 26 – піропатрон головної подушки безпеки правий; 27 – датчик удару задньої бічної подушки безпеки водія; 28 – датчик удару задньої бічної подушки безпеки переднього пасажира; 29 – піропатрон аварійного розмикання акумуляторної батареї; 30 – центральний блок управління системи комфорту

Рисунок 2 – Внутрішнє дзеркало заднього виду

Рисунок 3 – Зовнішнє дзеркало заднього виду

У разі значних габаритів транспортного засобу, внутрішнє дзеркало може бути відсутнім (наприклад, якщо це пасажирський мікроавтобус або великогабаритна вантажівка).

Не зважаючи на всі переваги, шо надають дзеркала заднього виду, існує один, однак надзвичайно важливий недолік – сліпі, або так звані «мертві», зони.

Сліпа зона автомобіля.– це простір навколо автомобіля, що не може бачити водій зі свого місця (рис. 4). Вона є позаду, збоку і навіть перед автомобілем.

Часто виникає ситуація, коли проїжджаючий повз автомобіль вже не видно в дзеркалі заднього виду, але водночас і з боку його теж немає можливості побачити.

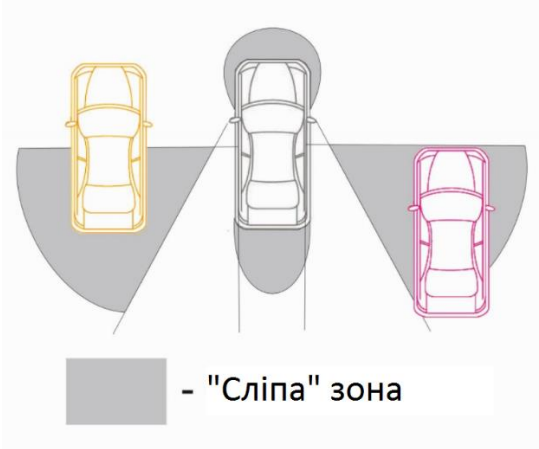


Рисунок 4 – Сліпі зони автомобіля

Для зменшення площі сліпої зони автомобіля розроблені спеціальні параболічні дзеркала з функцією збільшення огляду. Однак таке дзеркало може спотворювати реальну відстань до об’єкта, і тим самим призвести до дорожньо-транспортної пригоди.

Щільний міський потік, зміна швидкості, автомобілі, які постійно здійснюють маневр перестроювання – все це реалії більшості сучасних мегаполісів. У водіїв в таких стресових умовах накопичується втома, знижується реакція, тому різко зростає ймовірність виникнення аварії. Для таких ситуацій та уникнення небезпечних моментів були розроблені системи, що інформують водія про розташування об’єктів та транспортних засобів навколо автомобіля.

При коректному та сумісному використанні даного засобу разом з дзеркалами заднього виду, вони дозволяють позбутися так званих «сліпих» зон автомобіля, та водночас підвищити безпеку дорожнього руху.

Разом з цим, дані системи оповіщення водія мають ряд недоліків, а саме:

– високу вартість;

– відсутність універсальності (існує можливість монтажу лише на конкретні моделі, типи або види транспортного засобу).

Одним з важливих елементів безпеки сучасного автомобіля є поняття «сліпої» зони (blind zone (англ.), рис. 5) коли при перебудуваннях водій не помічає автомобіля, який перебував у сусідньому ряду трохи ззаду, і який не видно ні в салонному, ні в бічному дзеркалах заднього виду. Почавши перестроювання в такій ситуації і «підрізаючи» сусідній автомобіль, водій з високою ймовірністю провокує ДТП, в якому винним однозначно буде визнаний сам водій автомобіля що перебудовувався і яке може закінчитися серйозною аварією.

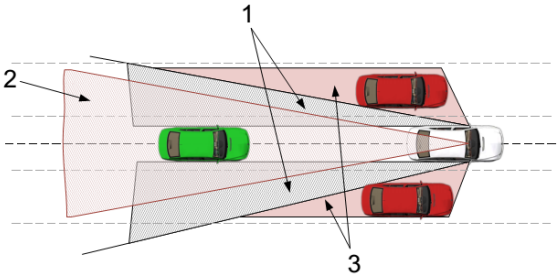


Рисунок 5 – Оглядовість з місця водія:
1 – зона покриття бічних дзеркал; 2 – зона покриття салонного дзеркала;
3 – «сліпа» зона

Ефект «сліпої» зони ліг в основу такого виду автомобільних злочинів, як підстави на дорогах. Відбувається це наступним чином: один автомобіль шахраїв «висить» у правій «сліпий» зоні автомобіля жертви (часто в темний час доби і без габаритних вогнів), а другий, кліпаючи ззаду дальнім світлом, «зганяє» жертву з смуги, змушуючи її перебудуватися вправо і поступитися дорогою. Водій-жертва не підозрює про перешкоди і притирає заднім правим крилом автомобіль шахраїв. У такій ситуації формально визнається винним водій-жертва.

Компанія Volvo продовжує розробляти різні системи, підвищують безпеку дорожнього руху. Остання розробка – система BLIS (Blind Spot Information System – «система, інформує водія про те, що відбувається на дорозі в «сліпій» зоні дзеркал заднього виду», рис. 6).

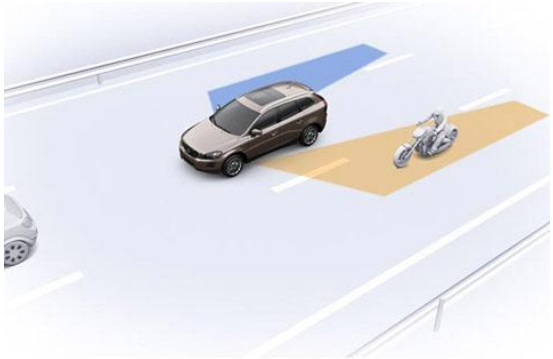


Рисунок 6 – Blind Spot Information System (BLIS)

Система працює за рахунок камери, яка постійно відстежує ту частину дороги, яку водій не бачить в дзеркало. Фірма Volvo завжди займалася проблемою огляду з місця водія, і саме вона в 1979 році стала першим автовиробником, який поставив на автомобіль дзеркала з широким кутом огляду.

Нова система BLIS пропонувалася в якості опціонної комплектації для моделей XC70, S60 і V70, починаючи з 2006 модельного року.

Коли транспортний засіб (автомобіль, вантажівка, мотоцикл) входить в «сліпу» зону огляду (площа 9,5 х 3,0 метра), поряд з відповідним дзеркалом спалахує жовта лампочка (рис. 1.10), і водій сприймає сигнал периферичним зором. Відповідно, водій знає, що поруч із його автомобілем рухається інший транспортний засіб, що він не переглядає в дзеркала.

Візуальний сигнал підвищує увагу водія і змушує приймати відповідні рішення. На кожному бічному дзеркалі заднього виду встановлена цифрова камера (рис. 7). Камера робить 25 знімків в секунду, та порівнюючи їх послідовність, система може визначити що в зоні BLIS знаходиться транспортний засіб.

Система запрограмована на визначення автомобілів і мотоциклів – як в денний так і в нічний час. Тим не менш, система BLIS функціонує на основі камери, тому у неї такі ж недоліки, як і в ока людини. Іншими словами, система не буде працювати в умовах поганої видимості, наприклад, у тумані або під час сильного снігопаду.

Рисунок 7 – Загальний вигляд системи BLIS

Система BLIS не реагує на припарковані автомобілі, дорожні огорожі, стовпи та інші нерухомі предмети. Система активується на швидкості вище 10 км/год і реагує тільки на інші транспортні засоби, які їдуть зі швидкістю в діапазоні від 20 км/год повільніше до 70 км/год швидше, ніж автомобіль з системою BLIS. Водій може відключити систему BLIS, натиснувши на кнопку на центральній панелі.

Фахівці Mazda деякий час тому запровадили схожу систему контролю «сліпої» зони під назвою BSM (Blind Spot Monitoring, рис. 8), що доступна лише для кросоверів CX-7 і CX-9.

Рисунок 8 – Розташування датчиків системи Blind Spot Monitoring

Система зберігає працездатність в умовах дощу і снігопаду, так як радари не чутливі до вказаних перешкод.

Для європейських споживачів Mazda приготувала більш досконалий варіант системи контролю «сліпої» зони – RVMS (Rear Vehicle Monitoring System). На відміну від традиційної системи,.нова не тільки відслідковує «сліпі» зони. Два радара, розташовані по кутах заднього бампера, контролюють простір позаду автомобіля на відстані до 50 м, як показано на рисунку 9. Вони попереджають про об’єкти, що наближаються по сусідніх смугах швидше 60 км/год.

Овалами позначена сфера покриття радарних хвиль. Як тільки наступна за автомобілем з RVMS машина залишає зону їх охоплення, включається попередження від системи контролю над «сліпими» зонами.

Рисунок 9 – Сфера покриття радарних хвиль RVMS

Ford представив дві нові опції, які дозволять водієві бачити «сліпу» зону. Перша – це додаткове дзеркало, вбудоване в дзеркало заднього виду, яке дозволить водієві бачити те, що відбувається в «сліпій» зоні (рис. 10). Друга – новий радар, який відстежує місце розташування автомобілів, які перетинають шлях автомобіля що рухається задом.і перебувають у його «сліпій» зоні (рис. 11).

Рисунок 10 – Зовнішній вид Cross Traffic Alert

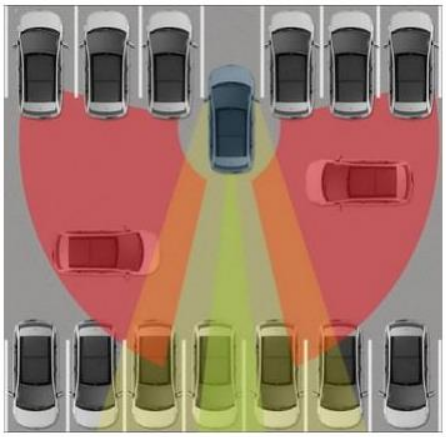


Рисунок 11 – Зона покриття Cross Traffic Alert

Нова система Ford, названа Cross Traffic Alert, буде допомагати водієві при русі автомобіля заднім ходом, попереджаючи його про наближення транспорту.

Система моніторингу «сліпої» зони працює за допомогою двох сенсорів, розташованих в задній частині автомобіля. Радар визначає, коли інший автомобіль входить в «сліпу» зону. Після цього на додатковому дзеркалі заднього виду загоряється лампочка, що повідомляє про наближення транспортного засобу або іншого об’єкта.

Новий Ford Focus III став практично самим технічно просунутим автомобілем у своєму класі. Дзеркала отримали додаткові сектора. Але, головне, Focus пропонує систему BLIS, доступну досі лише на Volvo. Система BLIS попередить світлодіодами в дзеркалах про машини в «сліпих» зонах (рис. 12).

Фірма Citroen використовує систему Bosch Side View Assist (рис. 13). В системі Side View Assist використовуються такі ж ультразвукові датчики, як і в паркувальних системах Bosch. Ультразвукові датчики Side View Assist встановлюються з боків автомобіля, а також на передній і задній бампери. Два задніх датчика контролюють сліпі зони праворуч і ліворуч, а два передніх служать виключно для контролю достовірності. Наприклад, якщо лівий передній датчик виявляє об’єкт раніше заднього, це означає, що він рухається по зустрічній смузі і попереджати водія не потрібно. Точно так само розпізнаються припарковані автомобілі, дорожня інфраструктура і обганяючі транспортні засоби. Ситуація вважається небезпечною тільки в тих випадках, коли один з тилових датчиків виявляє об’єкт, не зареєстрований передніми датчиками. У таких випадках Side View Assist видає водієві візуальне попередження включаючи світловий сигнал в бічному дзеркалі на боці перешкоди. Якщо водій не реагує і включає поворотник, збираючись перебудовуватися, система подає попереджувальний звуковий сигнал.

Рисунок 12 – Додатковий сектор і індикатор системи BLIS в дзеркалі Ford

Рисунок 13 – Робота системи Bosch Side View Assist

Система Side View Assist працює на швидкостях від 10 до 140 км/год, допомагаючи водіям у складних дорожніх ситуаціях з відносно низькими швидкостями.

Іншим завданням у галузі контролю «сліпої» зони є інформування водія про знаходження його транспортного засобу в області сліпої зони бічних дзеркал автомобіля попереду з метою допомоги цьому водієві при управлінні ним ТЗ. Поставлена задача вирішується застосуванням датчиків в сукупності з системою технічного зору, що розташовуються на передньому бампері транспортного засобу та опитуваних мікроконтролером.

Основними недоліками всіх перерахованих систем є відсутність їх мобільності – можливості установки на продукцію будь-якого автовиробника, як зараз це робиться, наприклад, з паркувальною системою. Вони пропонуються тільки в якості опції до конкретної марки, а то й моделі автомобіля. Це може бути хорошим маркетинговим ходом для перерахованих вище компаній. Подібні опціонні пропозиції змушують покупця схилятися до вибору тієї чи іншої марки автомобіля, а не вибирати ту, яку йому дійсно хотілося б отримати.

Перераховані вище системи можуть стати просто недоступними через свою високу ціну.(система BLIS фірми Volvo коштує близько $700) і такі споживачі, як, наприклад, власники продукції автовазу опиняться за межею своїх можливостей підвищити безпеку на дорозі як самих себе, так і інших учасників дорожнього руху.

Крім того, автовиробники не прийшли до спільної думки щодо вибору режиму роботи таких систем – оптимальним варіантом могла б стати система, що дозволяє користувачеві налаштовувати її індивідуально «під себе».

Комплектація в якій надходить товар часто розрізняється (в залежності від виробника, рис. 14). Також потрібно прийняти за увагу те, що на даний момент на ринку не існує універсальних систем контролю сліпих зон, тому, окрім вибору комплектації потрібно звертати увагу на те, чи існує сумісність пристрою з моделлю та типом того чи іншого автотранспорту.

Найрозповсюдженішою комплектацією системи контролю сліпих зон є:

- RGB дисплей з вбудованим динаміком;
- LED індикатор (2 шт.);
- ультразвуковий датчик (4 шт.);
- мікроконтролер (база).

З явних недоліків можна виявити високу собівартість (без урахування витрат на майбутній монтаж системи на транспортний засіб), 3-х колірний дисплей, неможливість ручного налаштування системи та відсутність майбутньої модернізації.

Рисунок 14 – Система контролю сліпих зон моделі Gazer BA400

Виклад матеріалів дослідження. Враховуючи особливості існуючих систем контролю «сліпої» зони, пропонується автоматична система виявлення рухомих об’єктів в «сліпій» зоні

бічних дзеркал для управління автомобілем, відмінними ознаками якої є: автоматична робота в якості активної системи безпеки шляхом регулювання величини зусилля на рульовому колесі; можливість роботи в декількох режимах; установка на автомобілі різних виробників, забезпечені електромеханічним підсилювачем рульового управління (ЕПУР).

Система може знаходитися в одному з трьох станів: працювати постійно, включатися при роботі покажчика повороту, або бути вимкнена. Перемикання режимів роботи здійснюється за допомогою двохклавішного перемикача.

Технічний результат полягає в автоматичному контролі стану «сліпої» зони і допомоги водієві при перебудуваннях, який досягається за рахунок того, що видаються водієві попереджувальні сигнали: якщо в переглядаючій системній зоні виявляється АТС, то на передній стійці поруч з боковим дзеркалом заднього виду з відповідної сторони починає блимати помаранчевий індикатор. У разі, якщо водій почне маневр при знаходженні АТС в контрольованій зоні, система трохи збільшить зусилля на рульовій колонці, тим самим перешкоджаючи здійсненню небажаного маневру, але не забороняючи його. Крім протидіючого зусилля виникає віброімпульс, який інформує водія про можливу небезпеку скоєного маневру, пропонуючи тим самим відмовитися від його виконання або відкласти його.

Ефект досягається внаслідок використання ультразвукових датчиків, розташованих на задньому бампері автомобіля, стан яких опитується обчислювальним ядром системи, що дозволяє не тільки автоматично контролювати стан «сліпої» зони навіть в умовах поганої видимості, але і сприяти водієві в процесі здійснення ним маневру.

Контролер аналізує сигнали датчиків і у відповідності з обраним режимом роботи системи видає попереджувальні сигнали водію. Якщо ви переглядаєте зони і.виявляється перешкода (автомобіль або мотоцикл), то на передній стійці з відповідної сторони починає блимати індикатор. Схематично принцип дії такої системи показаний на рисунку 15.

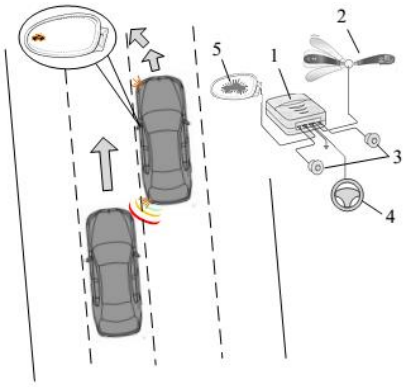


Рисунок 15 – Схема пропонованої роботи автоматичної системи виявлення рухомих об’єктів в «сліпій» зоні бічних дзеркал для керування автомобілем:
1 – обчислювальний модуль; 2 –перемикачі покажчиків поворотів; 3 – вимірювальні перетворювачі; 4 – рульова колонка з ЕПУР; 5 – індикатори

Основні вимоги, що пред’являються до автоматичної системи виявлення рухомих об’єктів в «сліпій» зоні бічних дзеркал для управління автомобілем, сформовані виходячи з розрахункової схеми, представленої на рисунку 16. Необхідно, щоб система сформувала сигнал додаткового зусилля на кермі, коли обганяючий транспортний засіб рухається з великою швидкістю і повністю прихований в «сліпій» зоні. Для визначеності приймемо швидкість транспортного засобу один відносно одного рівній 130 км/год, відстань, при проходженні якого обганяючий транспортний засіб виявиться неоглядовим відповідно до вимоги до оглядовості з місця водія (ЄЕК ООН № 46 (ГОСТ Р 41.46-99) і ГОСТ Р 51266-99; покриття сліпої зони ≈10х2,5 м від місця кріплення дзеркал), приймемо рівним 5 м з урахуванням довжини транспортного засобу, що обганяє.

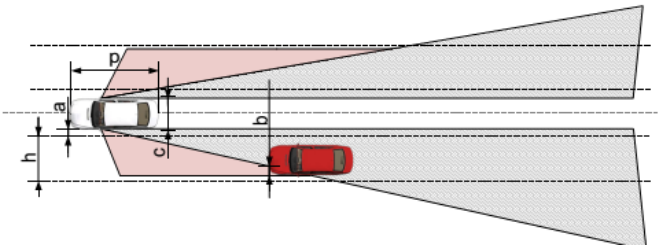


Рисунок 16 – Розрахункова схема для обґрунтування вимог до пропонованої автоматичної системи виявлення рухомих об’єктів в «сліпій» зоні бічних дзеркал:
a – бічне відведення; b – величина визначеного об’єкта (≈0,08 м^2); з – ширина автомобіля (≈1,6 м); h – ширина смуги руху (2,75 м); p – довжина ТЗ (≈3,6 м)

При цих допущеннях час спрацьовування по формуванню додаткового зусилля на кермі повинен бути не більше 138 мс.

Враховуючи, що мінімальна ширина автомобіля може бути менше ніж 1,6 м при висоті відбиває області передньої частини автомобіля близько 0,5 м система повинна виявляти об’єкт при попаданні в зону її дії близько 10% площі передньої частини 0,08 м^2. При таких вимогах система повинна виявляти і такі транспортні засоби, як мотоцикли.

Вимоги до точності регулювання з урахуванням збереження положення автомобіля всередині смуги полягає в наступному: бічне відведення не більше 0,575 м при мінімальній ширині смуги 2,75 м і середній ширині автомобіля 1,6 м (табл. 1).

Таблиця 1 – Класи автомобілів

Клас автомобіля	Довжина	Ширина
A	до 3,6м	До 1,6м
B	3,6-4,2м	1,5-1,7м
C	4,2-4,4м	1,6-1,75м
D	4,4-4,6м	1,7-1,8м
E	4,6-4,9м	1,7м і більше
F	4,9м.і більше	1,7м і більше

Додатковими вимогами до системи є:

– робота в умовах поганої видимості;
– робота в широкому діапазоні температур: -40 - +55 °C (для помірного клімату);
– пилезахищеність:

a) блок управління: клас 5;
b) вимірювальні перетворювачі: клас 6;

– вологозахищеність:

a) вимірювальні перетворювачі: клас 7;

– захист провідників від електромагнітного випромінювання.

Структуру автоматичної системи виявлення рухомих об’єктів в «сліпій» зоні бічних дзеркал автомобіля (рис. 17) можна представити у вигляді обчислювального модуля (мікроконтролера) і 3-х взаємодіючих з ним робочих модулів:

– вимірювальний перетворювач на базі ультразвукового датчика Maxsonar (модуль виявлення АТС в області «сліпої» зони);
– час вимірювання: 49 мс (100 мс при першому циклі вимірювання);
– дальність вимірювання до 6,5 м;
– мінімальна площа виявленої об’єкта 0,062 м^2 на відстані 6,5 м від перетворювача;
– робота в умовах поганої видимості;
– температурний діапазон -40 - +70 °C;
– пилезахищеність: клас 6;
– вологозахищеність: клас 7;
– AVR мікроконтролер серії «Automotive», призначеної для.використання у складі МС (ядро системи);

– обробка вимірювальної інформації і формування управляючих сигналів становить при тактовій частоті 8 МГц: 208 мкс;

– температурний діапазон -40 - +85;

– світловипромінюючий діод – СІД (модуль індикації);

– продуктивність: 1,5 мкс;

– електромеханічний підсилювач рульового управління – ЕМУР (модуль створення зусилля на рульовому колесі);

– швидкодія: 7 мс.

Рисунок 17 – Структурна схема активної автоматичної системи виявлення рухомих об’єктів в «сліпій» зоні бічних дзеркал транспортного засобу

В режимі роботи за вказівником повороту контроль «сліпої» зони активується на початку перебудови включенням відповідного покажчика повороту. У цьому режимі система управління зчитує положення перемикача повороту і опитує лише один з двох контурів. В даному режимі, наприклад, при включеному лівому покажчику повороту, система управління не буде опитувати стан правого контуру навіть у разі появи автотранспортного засобу у області його дії.

Можливості та перспективи подальших наукових досліджень. При розробці нової системи оповіщення водія про транспорт, що обганяє або опереджає автомобіль, потрібно врахувати недоліки вже існуючих аналогів на ринку, а також повинно забезпечуватися:

– легкість та дешевизна монтажних робіт;

– працездатність та захищеність від агресивного навколишнього середовища (пилу, вологи);

– інтуїтивне інформування водія про стан транспортного засобу;

– можливість подальшої модернізації.

Саме тому, виникає необхідність для розробки нової системи оповіщення водія про транспорт, що обганяє або опереджає автомобіль, і врахування недоліків уже існуючих аналогів.

Задачі дослідження:

1) провести аналіз процесу обгону або випередження легкового автомобіля іншими транспортними засобами;

2) визначити параметри, що впливають на якість визначення об’єктів при обгоні або випередженні легкового автомобіля;

3) розробити програмно-апаратний комплекс пасивної системи безпеки легкового автомобіля при його обгоні або випередженні;

4) вибрати датчики, виконавчі механізми та мікроконтролер;

5) розробити принципову електричну схему підключення датчиків та виконавчих механізмів до мікроконтролера;

6) розробити програмне забезпечення;

провести дослідження розробленого програмно-апаратного комплексу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Audi Q7. URL: https://www.slideshare.net/slideshow/361-1-audi-q7pdf/9632672 (дата звернення 19.10.2024).

2. Лях М.А., Дем’янюк О.С., Бешун О.А. Основи керування автомобілем та безпека дорожнього руху : Навч. посібник: для ВНЗ К.: ВІКНУ, 2011. 368 с..

3. ДСТУ 3649:2010.«КОЛІСНІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання». К: Держспоживстандарт України. 2011. 30 с.

4. ДСТУ 7434:2013 «Колісні транспортні засоби. Вимоги безпеки до конструкції та технічного стану колісних транспортних засобів, двигуни яких працюють на газовому моторному паливі, та методи контролю». К: Мінекономрозвитку України. 2014. 32 с.

УДК 621.373

С.О. Шевчук, Ю.С. Лапченко, О.М. Решетило
Луцький національний технічний університет

ІМПУЛЬСНА ЛАЗЕРНА ФОТОІОНІЗАЦІЯ

Стаття присвячена огляду методу колінеарної лазерної фотоіонізації швидких атомів, коли ступінчаста резонансна імпульсна дія лазерного випромінювання здійснюється по всій довжині поширення швидкого пучка. Даний метод характеризується високою ефективністю збудження, як наслідок стиснення неоднорідних спектральних ширин ліній поглинання для швидких атомів/іонів, у поєднанні з високою ізотопічною вибірковістю, що виявляється в колінеарній геометрії. У багатофотонних процесах, перехід електрона з одного пов'язаного рівня на інший, або в континуум супроводжується поглинанням-випромінюванням декількох фотонів. Розглянуто процеси, що лежать в основі лазерної іонізації атомно-молекулярних структур. Методи лазерної фотоіонізації та фотоелектронної мікроскопії відповідають цим вимогам.

***Ключові слова**: фотоіонізація, лазер, багатофотонність, наносекундний, фемтосекундний, лазерна спектроскопія.*

S. Shevchuk, Y. Lapchenko, O. Reshetylo. Pulse laser photoionization. The article is devoted to a review of the method of collinear laser photoionization of fast atoms, when the step-wise resonant pulse action of laser radiation is carried out along the entire length of the propagation of the fast beam. This method is characterized by high excitation efficiency, as a result of compression of inhomogeneous spectral widths of absorption lines for fast atoms/ions, in combination with high isotopic selectivity, which is manifested in the collinear geometry. In multiphoton processes, the transition of an electron from one bound level to another, or to the continuum, is accompanied by the absorption-emission of several photons. The processes underlying the laser ionization of atomic-molecular structures are considered. The methods of laser photoionization and photoelectron microscopy meet these requirements.

Keywordsphotoionization, laser, multiphoton, nanosecond, femtosecond, laser spectroscopy.

Постановка проблеми Освоєння наносекундного діапазону почалося незабаром після винаходу лазера. Великий розвиток отримала лазерна спектроскопія атомів і молекул: існує величезний клас енергетичних рівнів, час життя яких лежить у цьому діапазоні. Перебудовуються за частотою наносекундні лазери виявилися зручними джерелами, що дозволяють реалізувати багатоступінчасту резонансну фотоіонізацію атомів досить ефективним чином. Виникли потужні методи аналізу речовини, що характеризуються надзвичайно високою хімічною та ізотопічною селективністю [1, 2]. Їх розвитку у свою чергу сприяло розробка нових принципів та підходів. Одним із таких є метод колінеарної лазерної фотоіонізації швидких атомів, коли ступінчаста резонансна імпульсна дія лазерного випромінювання здійснюється по всій довжині поширення швидкого пучка. Даний метод характеризується високою ефективністю збудження, як наслідок стиснення неоднорідних спектральних ширин ліній поглинання для швидких атомів/іонів, у поєднанні з високою ізотопічною вибірковістю, що виявляється в колінеарній геометрії.

Вступ. Потужне імпульсне лазерне випромінювання дозволяє селективним чином розривати зв'язки в речовині та формувати пучки фотоелектронів та фотоіонів [2, 3]. Ці пучки передають інформацію, як про опромінене речовині, так і про електромагнітне випромінювання, наприклад, тривалості його впливу на зразок: реєструючи утворені заряджені частинки, можна отримувати цю інформацію. Існуючі детектори мають високою чутливістю та дозволяють реєструвати поодинокі події, пов'язані з появою вільних електронів/іонів. Розвинені методи керування безперервними електронними пучками можна використовувати для роботи з імпульсними пучками, що полегшує розробку експериментальної схеми та призводить до нових можливостей. Одним з найяскравіших прикладів може бути створення просвічує електронного мікроскопа нового покоління, що використовує фотоелектронні імпульси для відображення кристалічної структури речовини, що відкриває область досліджень структурної динаміки з високою просторово-тимчасовою роздільною здатністю. Фемтосекундний лазер є універсальним інструментом для здійснення багатофотонних процесів у речовині. Іншим прикладом є використання фотоефекту в проекційній мікроскопії, коли розбіжність Електричне поле формує на детекторі фотоелектронне зображення кінчика гострої голки із високим просторовим збільшенням. Така схема експерименту дозволяє уникнути

надсильних електричних полів поблизу провідної голки, здатних призвести до структурної деформації поміщеного на ній зразка.

Викладення основного матеріалу. Фотоіонізація атомно-молекулярних структур та фотоелектронна емісія з конденсованих середовищ, фотоефект, є основними процесами в сучасних галузях досліджень, пов'язаних з застосуванням імпульсних лазерних джерел. Не в останню чергу це обумовлено тим, що існуючі експериментальні можливості дозволяють забезпечити дуже високу чутливість реєстрації таких процесів. Їх вивчення привертає увагу численних дослідників як з погляду розвитку теорії, так і в практичному аспекті, включаючи проведення масштабних експериментів та розробку аналітичних додатків.

Для переведення речовини в іонізований стан при перерахунку на один випущений електрон часто виявляється недостатнім поглинання одного кванта з падаючого лазерного випромінювання: зазвичай їх потрібно декілька, іноді - суттєво більше одного. Подібна «багатоквантовість» безпосередньо пов'язана із застосуванням поширених імпульсних лазерних джерел, що працюють у видимому, близькому УФ або близькому ІЧ спектральних діапазонах. При цьому потенціал іонізації атомної системи, або робота виходу у разі конденсованого середовища найчастіше суттєво перевершують енергію кванта електромагнітного випромінювання. Іонізаційні схеми, що реалізуються в таких експериментах, мають важливі переваги. Зупинимося на двох із них. По-перше, це можливість досягнення високої селективності процесу багатоступінчастої фотоіонізації, що особливо важливо для спектроскопії рідкісних ізотопів та оптичного аналізу хімічних елементів, присутніх в досліджуваних зразках в ультрамалих кількостях. По-по-друге, це базис для розвитку нових напрямів у природознавстві, зокрема аттосекундної фізики, заснованих на багатофотонних процесах у сильному лазерному полі, а також для досліджень у галузі імпульсної фотоелектронної мікроскопії Багатофотонні та каскадні багатоступінчасті процеси в речовині, що здійснюються з досить високою ефективністю, є відмінною рисою застосування потужних імпульсних лазерних джерел у багатьох сферах. Це - нелінійна оптика [1], фотоіонізаційна лазерна спектроскопія [4], селективна лазерна фотохімія та детектування одиничних атомів [5], фемтосекундна лазерна спектроскопія [6], лазерна обробка матеріалів [7] та багато іншого.

У багатофотонних процесах, перехід електрона з одного пов'язаного рівня на інший, або в континуум супроводжується поглинанням-випромінюванням декількох фотонів. Подібний прояв співвідношення невизначеностей енергії та часу, що з квантово-механічної точки зору реалізується у порушенні віртуальних рівнів, часто представляє найбільший інтерес у розділі сучасної оптики, розглядає застосування високоінтенсивного електромагнітного випромінювання. При цьому його спектральний склад у багатьох випадках, особливо, коли йдеться безпосередньо про фотоіонізації, не грає першорядної ролі, що кардинально відрізняться від багатоступінчастих, резонансних каскадних процесів в атомах та молекулах.

Лазери, що перебудовуються за частотою, працюють в наносекундному тимчасовому діапазоні, виявилися зручними інструментами для реалізації багатоступінчастої резонансної фотоіонізації атомів Важливими додатками цього стали атомна спектроскопія високого дозволу та високочутливий елементний аналіз [4]. Використання швидкого атомного пучка з кінетичною енергією в діапазоні від кількох кеВ і вище послужило основою методу колінеарної лазерної фотоіонізації, яка має цілу низку переваг. По-перше, прискорені до певної кінетичної енергії атоми, що належать до одному й тому ж хімічному елементу, але є різними ізотопами, що рухаються з різними швидкостями. Відповідно, при колінеарне опромінення, внаслідок ефекту Допплера з'являється можливість забезпечити ізотопічно-селективне оптичне збудження енергетичних рівнів. По-друге, у результаті угруповання за швидкостями для швидких атомів10 відбувається стиснення неоднорідно-поширеного контуру лінії поглинання, що забезпечує високу ефективність збудження атомів квазімонохроматичним лазерним випромінюванням. По-третє, є можливість ефективним чином заселяти метастабільні стани в атомах з високим потенціалом іонізації внаслідок перезарядки на парах лужного металу швидких іонів даного хімічного елемента, що дозволило використовувати електромагнітне випромінювання у видимому спектральному діапазоні та ближньому УФ діапазоні для ступінчастої резонансної іонізації атомів навіть шляхетних елементів. Такі властивості забезпечили привабливість даного методу у лазерній спектроскопії [4] і послужили основою для оптичного детектування рідкісних ізотопів у прискореному атомному пучку.

Як виявилося, даний метод можна поширити на дослідження галузі фізики негативних іонів. Використовуючи колінеарну лазерну фотоіонізаційну спектроскопію, були отримані нові результати, що відносяться до двох найлегших хімічних елементів: водню, включаючи ізотоп дейтерій, та гелію. Негативні іони формувалися внаслідок проходження позитивно-зарядженого

іонного пучка даного хімічного елемента крізь пари лужного металу, після чого за допомогою електростатичного поля аніони відокремлювалися від вихідного пучка та прямували в область експерименту для проведення оптичних вимірів.

Для спостереження багатофотонних процесів в експерименті важливо створити високу інтенсивність електромагнітного випромінювання. Звичайно, що лазери, що працюють у піко-фемтосекундному діапазоні, допомагають вирішити це завдання: при рівній енергії, більш короткий імпульс дозволяє забезпечити, відповідно, більш високу пікову потужність Phs електромагнітної хвилі, що сприяє дослідженню подібних процесів. Для збільшення інтенсивності електромагнітного поля лазерний пучок доцільно сфокусувати в області зразка. У такій постановці, характерна тривалість лазерних імпульсів та поперечні розміри сфокусованого лазерного пучка, що визначаються як деякі усереднені величини є ключовими параметрами практично для будь-якого експерименту з УКІ. Однак для коректного опису багатофотонних процесів цих «усереднених» величин виявляється часто недостатньо (ймовірність таких переходів є функцією просторово-тимчасового профілю лазерного пучка, який іноді дуже непросто апроксимувати аналітичною функцією), що ускладнює порівняння експериментальних даних із розрахунком. Для оцінок у цьому випадку можна використовувати певні спрощення, наприклад, про тимчасову форму лазерного імпульсу, що описується у наближенні, що використовується в явному, аналітичному вигляді.

Строго кажучи, «багато фотоніка» не тільки несе в собі різноманіття фізичних явищ, що виявляються в експерименті, але й серйозно стимулює розвиток теоретичних підходів до її опису. З експериментальної точки зору, рівень її розуміння визначається розвитком імпульсної лазерної техніки, але вдосконалення самої приладової бази залежить у свою чергу не тільки і не стільки від потреб експериментаторів, що працюють у даних наукових галузях, скільки від наявних можливостей використовувати нелінійні процеси в лазерного приладобудування. Тут можна згадати надзвичайно важливий перехід до дуже популярних і досить простих у налаштуванні твердотільних фемтосекундних лазерних систем, що працюють на принципі керрівської лінзи. А останнім часом стає можливим дослідження багатофотонних процесів вже за участю субфемтосекундних, або аттосекундних, короткохвильових електромагнітних імпульсів [7].

Одним з найпотужніших методів дослідження багатофотонних і нелінійних процесів є спостереження заряджених частинок, виникаючих в результаті взаємодії високоінтенсивного лазерного випромінювання з речовиною [4]. Перетворення нейтральної атомно-молекулярної структури в позитивно заряджену є фундаментально-значущою як із практичної точки зору, так і в теоретичному аспекті.

Основні властивості іонізації атомів під дією високоінтенсивного (I_{las}~10^{14} Вт/см^2) електромагнітного випромінювання можна простежити у рамках наступної моделі. Розглянемо цей процес для атома з потенціалом іонізації I_{at}, що знаходиться в основному стані, що є досить гарною вихідною моделлю для розуміння загальної картини. Для 1-фотонного випадку фотоіонізація буде пороговою за частотою ω, де Ђω - енергія кванта, що обумовлено наявністю червоної межі: Ђω=I_{at}. У багатофотонному випадку це, звичайно, не так: гіпотетично збільшуючи кількість фотонів, що беруть участь у процесі, можна за будь-якої частоті електромагнітного випромінювання забезпечити ненульову ймовірність іонізації, що збільшується зі зростанням лазерної інтенсивності. Але, як відомо, зі збільшенням інтенсивності лазерного випромінювання починає виявлятися новий канал - тунельна іонізація [7]: коли в лазерному імпульсі, що опромінює речовину, є особливо висока просторово-часова концентрація фотонів, фотоіонізація починає набувати схожих рис з процесами в надсильних статичних електричні поля.

До цього лазерне випромінювання розглядалося мовою фотонів. Якщо перейти до опису такого випромінювання як хвилі електромагнітного поля, то неважко оцінити, що амплітуда напруженості електричного поля F_{las} в експерименті з використанням сучасних фемтосекундних лазерних джерел може бути дуже великий. У такому швидкоосцилюючому високоінтенсивному електромагнітному полі відбувається дуже суттєва зміна форми атомного потенціалу, так що електрон в атомі в ті моменти часу, коли електричне поле, що періодично змінюється, досягає великих величин, перестає бути пов'язаним. Цей механізм нагадує іонізацію квантової системи в постійному надсильному електричному поле. Як випливає з теорії, для атомної системи в сильному лазерному полі можливі два граничні випадки нелінійної фотоіонізації: тунельна іонізація та багатофотонна [8]. Розглянемо ці процеси дещо докладніше.

Існує досить універсальний вираз, що визначає, коли фотоіонізацію атомів слід розглядати як багатофотонну, а коли процес іонізації має тунельний характер. Параметр, регулюючий перехід між цими двома крайніми випадками, вітчизняної, та й в іноземній науковій літературі отримав ім'я

Келдиша. Він відіграє важливу роль у сучасній лазерній фізиці, пов'язаної із застосуванням потужних імпульсних джерел електромагнітного випромінювання Щоб "відчути" цей параметр, проаналізуємо класичну модель тунельної проникності бар'єру, визначається атомним потенціалом, у досить сильному змінному електромагнітне поле. У класичному наближенні характерний час тунельного процесу τ_{tun} можна прийняти рівним часу прольоту електрона через бар'єр [7]. Зважаючи на те, що ефективна ширина бар'єру може бути виражена, як $l_{bar} \square \frac{I_{at}}{eF_{las}}$, а середня швидкість електрона по порядку величини дорівнює $\sqrt{\frac{I_{at}}{m_e}}$, отримуємо, що $\tau_{tun} \square \frac{\sqrt{I_{at} m_e}}{eF_{las}}$. Далі отриманий час «просочування» електрона крізь бар'єр необхідно порівняти з періодом осциляції електромагнітного поля. Йдеться про те, чи встигає процес тунельної іонізації відбутися за характерний час зміни лазерного поля, напівперіод осциляції електромагнітного поля. В результаті параметр адіабатичності або параметр Келдиша визначається як $\gamma \approx \frac{\tau_{tun}}{T_{las}} \approx \sqrt{\frac{I_{at}}{2u_p}}$, де $u_p = \frac{(eF_{las})^2}{4m_e \omega_{las}}$ пондемоторний потенціал, або пондемоторна енергія, а саме, характерна кінетична енергія, що набирається електроном у лазерному полі. Зауважимо, що параметр Келдиша, і ПП зустрічаються досить часто при описі різноманітних досліджень у сильному електромагнітному поле виконується за допомогою потужних імпульсних лазерів.

У рамках широко використовується теорії фотоіонізації приймається, що граничний випадок $\gamma \ll 1$ відповідає тунельній іонізації, а $\gamma \gg 1$ – багатофотонної. Тут слід зробити два важливі зауваження. По-перше, у багатьох експериментах фотоіонізація атомів благородних газів, наприклад, гелію, випромінюванням Ti:Sa лазера (найпоширеніший лабораторне джерело потужного фемтосекундного лазерного випромінювання) досить часто відбувається при $\gamma \sim 1$, що серйозно ускладнює опис фотоіонізаційного процесу. Однак при цьому часто передбачається, що атомна іонізація йде за тунельним сценарієм. Безумовно, це – не дуже коректне припущення. Тим не менш, на виправдання цього спрощення можна навести чисельний експеримент [9], у якому досить докладно досліджувалася поведінка атома водню в високоінтенсивне електромагнітне поле. Дотримуючись цієї теоретичної роботі, дійсно, можна приблизно розглядати випадок $\gamma \sim 1$ для атомів, як тунельну іонізацію, хоча загальна картина виявляється набагато складнішою в порівнянні з вищенаведеними простими міркуваннями. По-друге, цю теорію, в якій параметр Келдиша допомагає встановити, за яким сценарієм здійснюється процес іонізації, досить часто переносять як на молекули, а й у кластери, і навіть на конденсовані середовища, зокрема, під час розгляду процесу фотоемісії електронів із металу. В останньому випадку замість потенціалу іонізації атомів у вираз для параметра адіабатичності входить робота виходу із металу. Звичайно, все це - дуже сміливі припущення, які часто викликають справедливу критику. Але в як виправдання слід зазначити, що подібна теорія дозволяє досить швидко виконати необхідні оцінки, які, як випливає з практики, найчастіше виявляються якісно вірними.

Висновки. Розглянуто процеси, що лежать в основі лазерної іонізації атомно-молекулярних структур. Застосування ультракороткого лазерного випромінювання у фотоелектронній мікроскопії відкриває нові можливості дослідження конденсованих середовищ. Для вирішення комплексу завдань необхідно використовувати високочутливі методи та підходи. Методи лазерної фотоіонізації та фотоелектронної мікроскопії відповідають цим вимогам.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Electro-optics handbook [Text] / Editors: R. W. Waynant, M. N. Ediger. – 2nd ed. – New York.: McGraw-Hill Inc., 2000. – 911 p. – ISBN 0-07-068716-1.
2. 81. Martinez-Duart J. Nanotechnology for microelectronics and optoelectronics [Text] / J. Martinez-Duart, R. Martin-Palma, F. Agullo-Rueda. – Oxford, Elsevier, 2006. – 279 p. – ISBN-13: 978-0-080-44553-3.
3. Letokhov V.S. Laser Control of Atoms and Molecules. Oxford University Press. 2007. 320 P.
4. Femtosecond Laser Spectroscopy. Ed. Peter Hannaford. Springer Science +Business Media, Boston. 2005. 350 P.

5. Petrunin V.V., Jacobsen M.H., Madsen L.B., Aseyev S.A., Andersen T. Photodetachment of He- in the vicinity of the two-electron escape threshold // Phys. Rev. Lett. 2003. V. 90 P.-013002.

6. Andersen H.H., Balling P., Kristensen P., Pedersen U.V., Aseyev S.A., Petrunin V.V., Andersen T. Positions and isotope shifts of the H(1P0) dipole resonances below the H(n=2) threshold // Phys. Rev. Lett. 1997. V. 79. P. 4770-4773.

7. Krausz F., Ivanov M. Attosecond Physics // Rev. Mod. Phys. 2009. V. 81. P. 163 - 234.

8. 1shkhanyan A.M., Krainov V.P. Non-exponential tunneling ionization of atoms by an intense laser field// Laser Phys. Lett. 2015. V. 12. P. 046002.

9. de Bohan A., Piraux B., Ponce L., Taieb R., Veniard V., Maquet A. Direct and Indirect Pathways in Strong Field Atomic Ionization Dynamics // Phys. Rev. Lett. 2002. V. 89. P. 113002.

УДК 519.6

Б. О. Пальчевський, О. М. Решетило, Ю. С. Лапченко, М. І. Павлів
Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ І КЛАСИФІКАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ МУЛЬТИГОЛОВОЧНИХ ДОЗАТОРІВ

Стаття присвячена аналізу та класифікації конструкції мультиголовочних дозаторів з автоматизацією процесів дозування поштучних продуктів при високих вимогах до точності маси їх дози. В наукових працях розглядаються конкретні реалізації МГД, приділено мало уваги характеристикам продуктів, які ними фасуються. Також там відсутні рекомендації щодо раціонального вибору кількості дозуючих головок. Отже, дуже важливим є знаходження або розробка такого алгоритму керування, результатом роботи якого було б зменшення кількості тупикових ситуацій під час роботи МГД або взагалі їх відсутність.

Ключові слова: мультиголовочний дозатор, дозуюча головка, заслінка, віброживильник, блок керування, лічильник, тензодатчик.

B. Palchevskyi, O. Reshetylo, Y. Lapchenko, M. Pavliv. Analysis and classification of multi-head dispenser designs. The article is devoted to the analysis and classification of the design of multi-head dispensers with automation of the processes of dosing of single products with high requirements for the accuracy of the mass of their dose. In scientific works, specific implementations of MHD are considered, little attention is paid to the characteristics of the products that are packaged by them. There are also no recommendations on the rational choice of the number of dosing heads. Therefore, it is very important to find or develop such a control algorithm, the result of which would be a reduction in the number of deadlocks during the operation of the MHD or their absence altogether.

Keywords: multi-head dispenser, dosing head, damper, vibratory feeder, control unit, counter, strain gauge.

Постановка проблеми. На даний момент в харчовій промисловості виникають значні труднощі пов’язані з автоматизацією процесів дозування поштучних продуктів при високих вимогах до точності маси їх дози. Найбільш складним завданням є формування дози, яка складається з крупно шматкових продуктів нерегулярної геометричної форми. Це зумовлено великою дисперсією мас шматків, їх нестабільною густиною і відносно малим числом шматків, що формують дозу. Саме для дозування таких продуктів використовують мультиголовочні дозатори (МГД). Вони працюють за наступним принципом: продукт потрапляє в вагові комірки, де відбувається його зважування, а потім, для того, щоб отримати дозу, підбирається така комбінація порцій, яка дає задану точність сумарної маси.

До переваг МГД можна віднести високу потенціальну продуктивність, яка майже ніколи не досягається на практиці. Значна розбіжність між теоретичною і фактичною продуктивністю в значній мірі викликана відмовами при виникненні тупикових ситуацій, коли система керування не може підібрати з порцій дозу з такою масою, яка б задовольняла вимоги нормативних документів. Надійність МГД залежить від конструкційних особливостей, налаштувань і алгоритму керування останнього.

Під час роботи МГД деякі вагові комірки наповнюються продуктом з масою, яка дещо перевищує задану. В результаті, такі комірки не можуть бути використані при комбінуванні доз. Результатом цього є зменшення кількості робочих комірок, які приймають участь в комбінуванні

дози. В певний період роботи МГД, коли кількість непрацюючих комірок є досить значною, виникає тупикова ситуація і відбувається зупинка дозатора з наступним вивантаженням продукту із всіх лотків. Слід зазначити, що така дія може погіршувати товарний вигляд деяких продуктів, а також призводить до значних втрат часу.

Отже, для МГД є дуже важливою проблема алгоритмічної оптимізації, з метою підвищення його надійності і зменшення частоти виникнення тупикових ситуацій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вивчення літератури і патентів, які стосуються комбінаційного вагового дозування, показало, що дані дослідження в більшій мірі приділяють увагу розробці пристроїв подачі і розподілення продукту, систем автоматики, і в меншій мірі – програм керування.

В наукових працях розглядаються конкретні реалізації МГД, приділено мало уваги характеристикам продуктів, які ними фасуються. Також там відсутні рекомендації щодо раціонального вибору кількості дозуючих головок.

Отже, дуже важливим є знаходження або розробка такого алгоритму керування, результатом роботи якого було б зменшення кількості тупикових ситуацій під час роботи МГД або взагалі їх відсутність.

Виклад основного матеріалу. Найпершою в світі принцип комбінаційного дозування і МГД в 1972 році розробила японська фірма *Ishsda*. Цей дозатор був спроектований для сільськогосподарських підприємств, які потребували високоточне обладнання для дозування і пакування зеленого перця. Дозувати зелений перець вручну дуже важко, оскільки вага одиниці продукту може вар'юватись в великих межах, що призводило до великого відхилення маси упаковки від заданої. Рішенням цього складного питання став дозатор випущений компанією *Ishida,* який міг зважувати порції зеленого перця в декількох комірках одночасно [1].

Робота мультиголовочного дозатора полягає в наступному: в процесі зважування комп'ютер вираховує всі можливі комбінації між отриманими значеннями і вибирає ту, яка найбільш ближча за своїм значенням до заданої або дозу, яка входить в поле допуску на масу і є найбільш оптимальною (рис. 1) [2]. Після цього вміст комірок, індекси яких ввійшли до вибраної комбінації, скидається в пакувальну машину. Така концепція здійснила революцію в принципах дозування. З використанням МГД продукти пакуються в тару без значного відхилення маси упаковки від заданої. Також такий алгоритм дозування дозволяє суттєво збільшити продуктивність самого дозатора. При великому об'ємі виробництва висока вартість мультиголовочного дозатора компенсується високою продуктивністю і зменшенням втрат на перерозхід продукції. [3]

No.	A 344	B 354	C 476	D 442	E 351	F 380	G 368	H 333	I 417	J 377	K 341	SUM (gram)
1			*		*			*			*	1501
2		*			*	*			*			1502
3				*	*		*				*	1502
4				*	*			*		*		1503
5							*		*	*	*	1503
6	*		*		*			*				1504
7	*			*						*	*	1504
8		*	*					*			*	1504
9	*			*	*		*					1505
10		*		*			*				*	1505
11				*	*	*		*				1506
12	*						*		*	*		1506
13		*		*				*		*		1506
14						*	*		*		*	1506
15	*	*	*					*				1507

Рисунок 1 – Можливі комбінації порцій для складання дози (11 лотків)

На рисунку 2 показана умовна технологічна схема МГД найбільш поширеної конструкції.

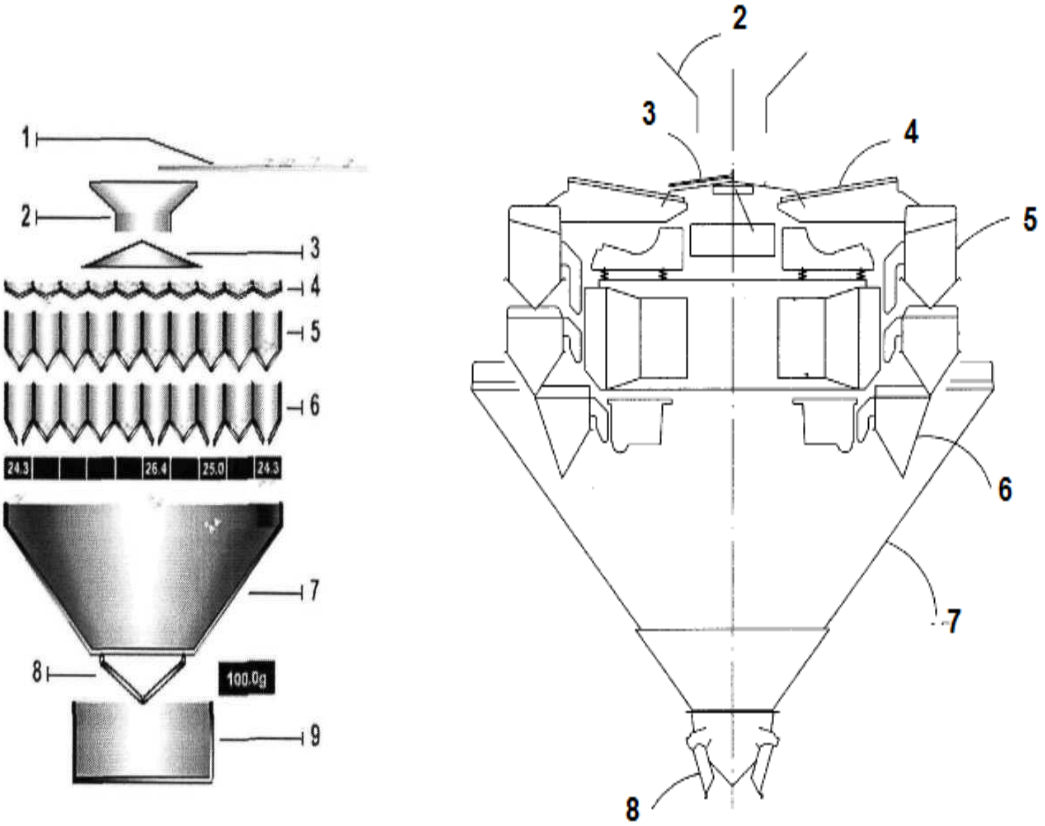


Рисунок 2 – Спрощена схема конструкції комбінаційного вагового дозатора:
1 – завантажувальний пристрій, 2 – передбункер, 3 – розподільник, 4 - віброживильники, 5 – кишені , 6 – комірки вагові, 7 – бункер, 8 – заслінки, 9 – пакувальна машина (до конструкції дозатора не відноситься)

Принцип роботи мультиголовочного дозатора полягає в наступному: по завантажувальному пристрою 1 продукт подається до передбункера з заслінкою 2, звідки потрапляє на розподільник 3, який розподіляє його на окремі потоки віброживильників 4 з незалежними один від одного вібраторами. Віброживильники подають продукт до кишень 5. З кишень продукт подається тільки в пусті вагові комірки 6, де відбувається його зважування. В той самий час блок керування отримує інформацію з тензодатчиків, які розташовані в вагових комірках, і прораховує всі їх можливі комбінації. Далі, відповідно до алгоритма, вибирається найкраща комбінація вагових комірок. Продукт з вибраних комірок потрапляє в бункер 7, де відбувається його змішування, після чого відчиняються заслінки 8 і продукт потрапляє до пакувальної машини [4].

Більшість МГД побудовано по схемі, яка показана на рисунку 3.

1. Алгоритм роботи визначає основні характеристики дозатора, такі як точність, продуктивність, періодичність виникнення тупикових ситуацій, закон розподілу маси дози. Оскільки між більшістю конструктивних елементів дозатора немає механічного зв'язку, весь процес дозування відбувається по командах системи керування. Отже, система керування відповідає за роботу кожного пристрою у складі МГД, його характеристики і регулювання.

2. Розподільник призначений для рівномірного розподілу продукту по віброживильнику. Виходом даного блоку є сигнал вагового датчика, що вимірює масу продукту, який подається в кишені. Вхідний сигнал йде до перетворювача, який керує вібраційним пристроєм. Завдання системи керування підтримувати подачу продукту в МГД рівну витраті. У разі відсутності продукту система керування припиняє роботу пристрою.

3. Віброживильник подає продукт в кишені. Регулювання маси порції здійснюється зміною тривалості і амплітуди роботи приводу вібратора віброживильника. Точні налаштування здійснюються системою керування з урахуванням виду продукту і параметрів налаштувань дозатора.

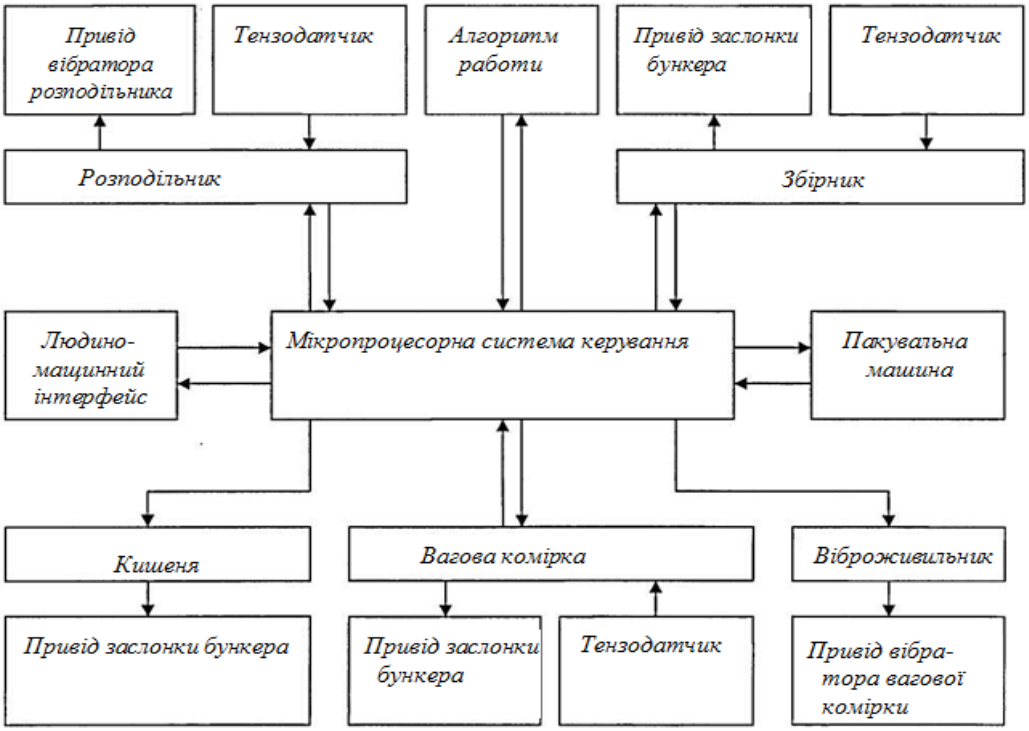


Рисунок 3 – Структурна схема МГД

4. Кишеня забезпечує тимчасове зберігання порції продукту, що надійшла з віброживильника. Зберігання порції здійснюється до її скидання в вагову комірку. Після чого даний пристрій готовий до прийому наступної порції продукту. Деякі конструкції МГД не мають даного блоку, однак, необхідність установки кишень задається вимогами до продуктивності МГД, тому що їх наявність дозволяє пришвидшити роботу дозатора. Відкриття і закриття кишені найчастіше відбувається за часом, що задається системою керування і по-різному для різних видів продукту.

5. Ваговий лоток забезпечує систему керування даними по масі продукту, що знаходиться в ньому, і забезпечує скидання порції продукту в бункер. Сигнал від тензодатчика фільтрується, його покази коригуються з урахуванням тарировки, а також зовнішніх збурюючих факторів. Отримавши значення маси порції в кожному бункері, система керування вибирає комбінацію лотків, відповідно до вибраного алгоритму, і дає сигнал на їх відкриття. Так само, як і в кишені, відкриття і закриття вагового лотка відбувається за часом.

6. Збірник призначений для сполучення режиму роботи МГД та пакувальної машини. Може відкриватися при отриманні сигналу готовності від пакувального автомата і за наявності в ньому готової дози.

7. Людино-машинний інтерфейс забезпечує зручний для людини зв'язок з системою керування для проведення необхідних налаштувань МГД, контролю роботи та перегляду статистичних даних за потрібний період роботи.

8. Пакувальна машина - апарат, який приймає і обробляє дози продукту, що видаються МГД. Для забезпечення синхронної спільної роботи, системи керування пакувальної машини і МГД пов'язані інтерфейсом передачі даних.

МГД відрізняються один від одного здебільшого конструкцією і робочими алгоритмами.

На продуктивність і точність дозування суттєво впливають конструкція і якість виконання окремих деталей блоку керування МГД, який найчастіше поєднує в собі ще й блок керування пакувальною машиною. На рисунку 4 представлена взаємодія блоку керування з МГД, пакувальною машиною і людиною, яка вводить команди за допомогою дисплея [5]. Є багато різних за конструкцією і складністю керуючих модулів. Розглянемо принципові схеми деяких з них.

Рисунок 4 – Візуалізація взаємодії МГД, блоку керування і пакувальної машини

Всі пристрої керування мають загальну схему виконання представлену на рисунку 5 і відрізняються лише способами виконання.[5]

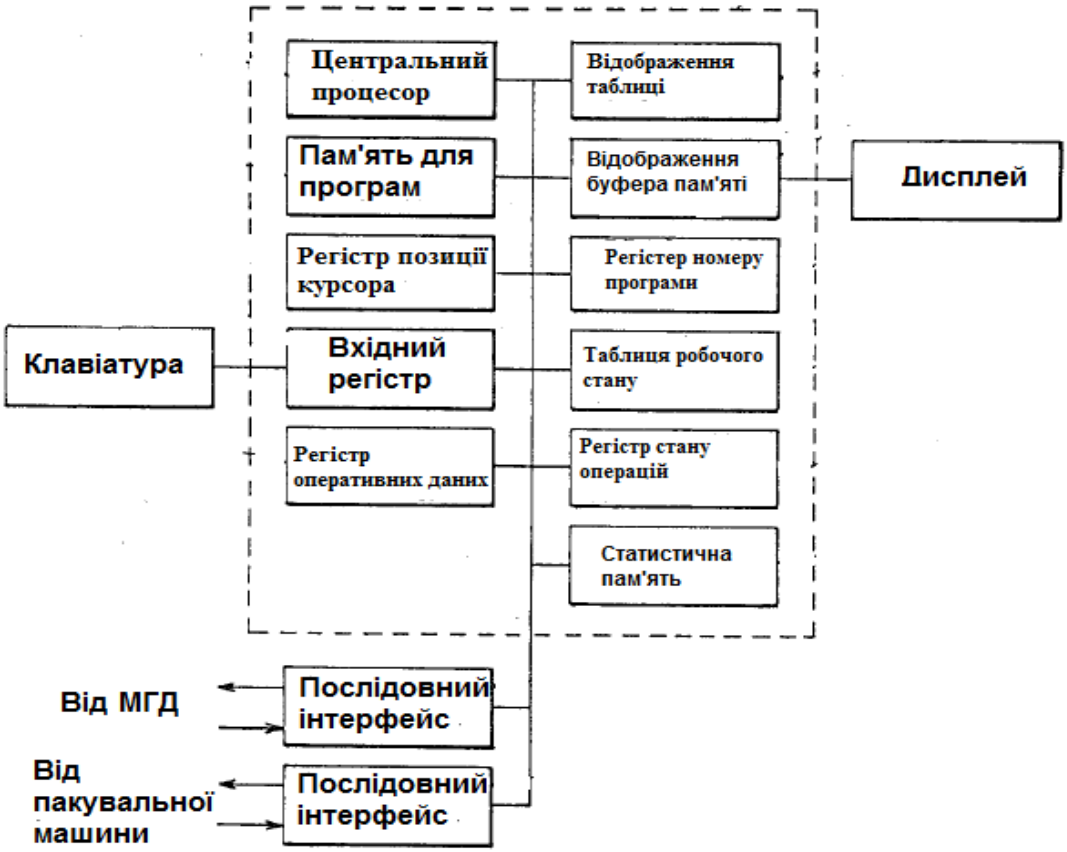
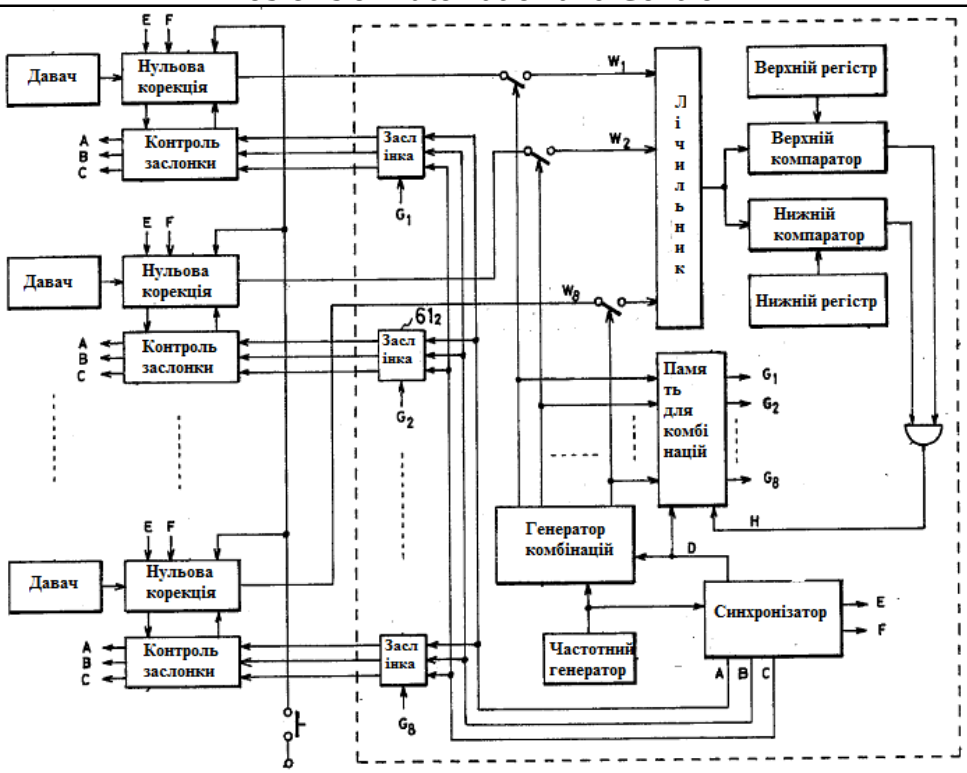


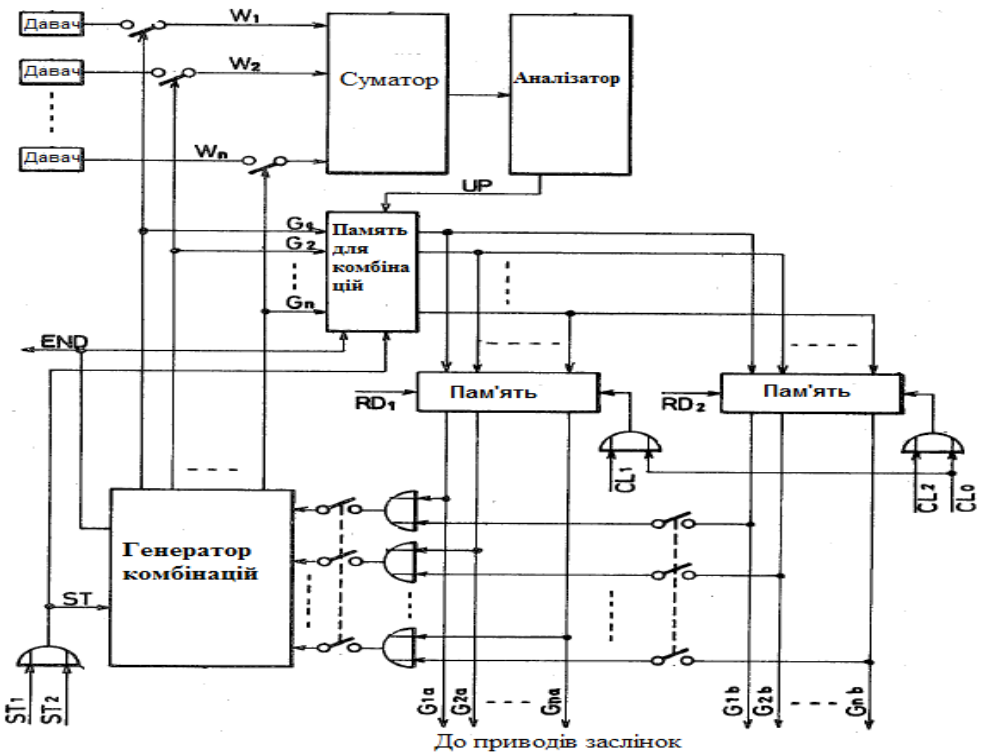
Рисунок 5 – Схема виконання блоку керування МГД і пакувальною машиною

На рисунку 6.а представлено типову принципову схему блока керування МГД. Сигнал від тензодатчиків іде через фільтри на мікросхему контролю заслінки, звідки потрапляє через синхронізатор на центральний мікроконтролер, де вираховуються комбінації порцій. Центральний мікроконтролер має ряд допоміжних пристроїв, таких як пам'ять для запису комбінацій, лічильників і порівнювачів. Після обробки даних мікропроцесор подає команди відкриття на необхідні заслінки. [4]

На рисунку 6.б представлена трохи інша принципова схема блоку керування МГД. З тензодатчиків сигнал потрапляє на суматор і аналізатор, який порівнює вагу в лотку з заданою. Далі аналізатор передає дані в пам'ять для комбінацій, з якою працює мікроконтролер для керування і розрахунку комбінацій. Коли підходяща комбінація знайдена, мікроконтролер дає команду на відкриття заслінок. [5]



а)



б)

Рисунок 6 – Принципова схема блоку керування МГД

Висновки: Мультиголовочні дозатори дуже складні технологічні машини, однак дуже прості в обслуговуванні і ремонті, оскільки побудовані за модульним принципом. Основними вимогами до їх експлуатації є:

- очищення дозатора від продукту після його зупинки. У більшості МГД передбачена функція самоочистки для видалення продукту, яку задіює оператор, після чого промиває дозатор водою і спеціальними дезинфікуючими розчинами.
- дія на вагові лотки з силою більшою, ніж зазначена в інструкції до МГД заборонена, оскільки

це може вивести з ладу тензодатчик.

- раз в рік необхідно тарирувати тензодатчик, оскільки його налаштування можуть збиватися в ході тривалої роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація): Навч. посібник. – Львів: Світ, 2001. – 232 с.

U.S.Patent 4344492. Automatic combination weighing machine with improved zero – point correction./ Takashi Hirano., date of publ. 17.8.1982.

U.S.Patent 4441567. Combination weighing machine./ Takashi Hirano., date of publ. 4.10.1984.

U.S.Patent 4742877. Combination weighing method./ Shozo Kawanishi.., date of publ. 10.5.1988

U.S.Patent 4780830. Combination weighing and packaging machine./ Yuji Omi., date of publ. 25.10.1988.

УДК 681.5

О. Б. Журавський, П. О. Гуменюк
Луцький національний технічний університет,

АВТОМАТИЗАЦІЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ У СФЕРІ УПРАВЛІННЯ СКЛАДОМ МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИНІВ

Робота присвячена дослідженню проблеми оптимізації управління бізнес-процесами складу інтернет-магазину та розробці системи для автоматизації цих процесів. Розроблено систему для автоматизації управління складами інтернет-магазину, яка дозволяє оцінити ефективність розподілу завдань, оптимізувати робочі процеси та підвищити продуктивність. Проведено аналіз впливу ключових параметрів, таких як обсяги товарів, час виконання операцій та завантаженість складу, на загальну ефективність роботи системи.

***Ключові слова**: управління складом, автоматизація, бізнес-процеси, оптимізація, інтернет-магазин.*

O. Zhuravsky, P. Humeniuk. Automation of business processes in the field of warehouse management of an online store chain. The article is devoted to the study of the problem of optimizing the management of business processes of an online store warehouse and the development of a system for automating these processes. A system for automating the management of online store warehouses has been developed, which allows to evaluate the effectiveness of task distribution, optimize workflows and increase productivity. The influence of key parameters, such as the volume of goods, the time of operations and the workload of the warehouse, on the overall efficiency of the system is analyzed.

***Keywords:** warehouse management, automation, business processes, optimization, online store.*

Постановка проблеми. Складські бізнес-процеси інтернет-магазинів займають ключову роль у забезпеченні ефективності роботи всієї компанії, адже від їх оптимізації залежить швидкість обробки замовлень, витрати на логістику та рівень задоволеності клієнтів. Зі зростанням обсягів зростає і складність управління складами, що створює нові виклики для автоматизації та оптимізації цих процесів.

Автоматизація управління складами – це впровадження інноваційних систем, які забезпечують контроль за всіма етапами складування, від приймання та зберігання товарів до їх підготовки для відправлення клієнтам. Основними проблемами є зменшення витрат часу на операції, а також інтеграція систем обліку та моніторингу в реальному часі.

Розробка систем автоматизації для складів інтернет-магазинів повинна враховувати низку факторів, зокрема обсяги замовлень, різноманітність товарів, динамічність попиту, необхідність швидкої обробки даних та забезпечення точності. Це вимагає створення гнучких, масштабованих та ефективних рішень, які можуть адаптуватися до змін умов роботи.

Проблеми оптимізації складських процесів, інтеграції систем управління та моніторингу, а також забезпечення високої продуктивності залишаються актуальними й сьогодні, що обумовлює необхідність їх дослідження та впровадження сучасних технологій автоматизації

Аналіз останніх досліджень. Автоматизація складських бізнес-процесів інтернет-магазинів включає різні платформи, які можна класифікувати за типом управління та функціональністю [1-7].

За типом управління розрізняють централізовані та дистрибутивні системи. Централізовані рішення, такі як SAP Extended Warehouse Management, мають єдиний сервер для управління всіма процесами складу, що дозволяє ефективно контролювати роботу. Дистрибутивні системи, як Microsoft Dynamics 365, забезпечують більшу гнучкість завдяки модульному підходу, адаптуючись до різних бізнес-умов.

За функціональністю платформи діляться на повні та часткові. Повні рішення, наприклад, Oracle NetSuite, охоплюють весь спектр складських операцій і інтегрують їх з іншими бізнес-процесами. Часткові рішення, такі як системи для управління замовленнями, орієнтовані на конкретні завдання, що знижує витрати на впровадження.

Масштабованість також важлива: роботизовані системи, як Locus Robotics, підвищують ефективність складу, використовуючи автономних роботів, що є ідеальним для великих складів, але має високу вартість впровадження.

Вибір платформи залежить від потреб підприємства, рівня автоматизації та інвестиційних можливостей.

Метою роботи є створення автоматизованої системи керування товарообігом на основі мережі магазинів Санмікс.

Викладення основного матеріалу. Автоматизація бізнес-процесів є важливим фактором підвищення ефективності управління підприємствами, зокрема у сфері управління запасами та складськими процесами. Системи управління запасами (IMS) і складом (WMS) забезпечують контроль за обліком, розподілом та переміщенням товарів, оптимізують запаси, знижують витрати і покращують обслуговування клієнтів. Інтеграція цих систем з транспортними (TMS) та ERP-системами дозволяє централізувати управління даними, зменшити дублювання інформації і поліпшити логістичні процеси.

Проте впровадження таких рішень вимагає значних ресурсів, тому була створена власна система для автоматизації та управління складами, архітектура якої побудована на багатошаровій системі. Клієнтська частина реалізована за допомогою фреймворку Angular, серверна частина створена на базі NestJS, а база даних використовує PostgreSQL. Система також включає додаткові сервіси для кешування та інтеграції з зовнішніми системами.

Система має такі функціональні можливості, як управління магазинами – створення, редагування та видалення магазинів; управління товарами – додавання нових товарів, категоризація, облік залишків та інтеграція з іншими системами; обробка замовлень – контроль за надходженнями та відстеженням статусів замовлень; управління користувачами – доступ до платформи на основі ролей (адміністратор, оператор, клієнт).

Система безпеки платформи реалізована з використанням сучасних підходів для захисту даних. Вона включає шифрування конфіденційних даних, обмеження доступу на основі ролей користувачів, а також захист від атак типу «SQL ін’єкція» та інших вразливостей. Система безпеки побудована на використанні вбудованих засобів фреймворків, що значно спрощує процес захисту даних та контролю доступу. У серверній частині, розробленій на основі NestJS, активно застосовуються Guards і Interceptors. Guards відповідають за перевірку прав доступу до ресурсів, зокрема для захищених маршрутів реалізовано механізми авторизації, які перевіряють роль користувача або дійсність токена перед обробкою запиту. Interceptors дозволяють фільтрувати та модифікувати вхідні і вихідні дані, автоматично шифруючи чутливу інформацію або додаючи загальні метадані до відповідей.

Монолітна архітектура дозволяє легко підтримувати й інтегрувати систему з існуючими процесами, забезпечуючи як гнучкість, так і масштабованість для задоволення потреб сучасного бізнесу.

Висновок. Розроблена система для автоматизації управління складами ефективно вирішує завдання управління товарними запасами, оптимізації логістичних процесів і обробки замовлень. Використання багатошарової архітектури на базі Angular, NestJS і PostgreSQL дозволяє забезпечити високу продуктивність, безпеку та масштабованість платформи. Інтеграція з іншими системами, дозволяє централізувати дані та покращити взаємодію.

Система продемонструвала свою гнучкість і адаптивність до вимог інтернет-магазинів, забезпечуючи надійне управління магазинами, товарами та користувачами. Вона ефективно обробляє великий обсяг даних і забезпечує безпеку завдяки використанню сучасних засобів захисту. Такий підхід робить систему потужним інструментом для автоматизації складських процесів і може бути успішно застосований у реальних умовах, де важлива швидка обробка даних і високий рівень безпеки..

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Інтелектуальні інформаційні системи. URL: https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/25833/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9.pdf (дата звертання 28.11.2024 р.).

2. Що таке WMS система. URL: https://uislab.com/uk/chto-takoe-wms-sistema/ (дата звертання 28.11.2024 р.).

3. SAP Extended Warehouse Management. URL: https://www.sap.com/products/ scm/extended-warehouse-management.html (дата звертання 28.11.2024 р.).

4. Microsoft Dynamics 365. URL: https://innoware.ua/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAmMC6BhA6EiwAdN5iLfCz4gErRnhKPQKP9t3G5gywdalhuUXhGiR5NiPbI8W0r4lt5uMSkxoC6yYQAvD_BwE (дата звертання 28.11.2024 р.).

5. Oracle NetSuite. URL: https://www.mrpeasy.com/mrpeasy-vs-oracle-netsuite/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=18317164048_145281847831&utm_content=628314134318&utm_term=oracle%20netsuite&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAmMC6BhA6EiwAdN5iLWerjYnq-BgeOx8jlHFTqyXVeDKj1O7hZ8UiY3L3LNBvjKcgrcZD-xoCRZsQAvD_BwE (дата звертання 28.11.2024 р.).

6. Locus Robotics. URL: https://locusrobotics.com/company (дата звертання 28.11.2024 р.).

7. 1C. URL: https://itez.com.ua/what-is-1c.html (дата звертання 28.11.2024 р.).

УДК 681.5:631.544.4

Д. В. Остапчук, Л. Ю. Федік, О. О. Смолянкін, Л. М. Маркіна, В. О. Сацик
Луцький національний технічний університет
E-mail: dostap01@gmail.com

РОЗВИТОК ВИРОБНИЦТВА СОЄВИХ ПРОДУКТІВ: ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ВИКОРИСТАННЯ КЛІТКОВИНИ З ВИСІВОК СОЇ У ВИРОБНИЦТВІ СОЄВОГО СОУСУ

Стаття присвячена дослідженню можливостей використання харчової клітковини, отриманої із соєвих висівок, у виробництві соєвого соусу. У роботі розглянуто технологічні аспекти обробки соєвих висівок з метою отримання стабільного за якістю продукту, а також досліджено вплив додавання клітковини на органолептичні та фізико-хімічні властивості соєвого соусу. Проведено аналіз функціональних характеристик отриманої клітковини, таких як водоутримувальна здатність і текстуроутворення, та їх вплив на структуру і стабільність кінцевого продукту.

Результати дослідження свідчать про можливість ефективної інтеграції харчової клітковини із соєвих висівок у рецептуру соєвого соусу без суттєвих змін смакових та ароматичних властивостей. Використання клітковини сприяє підвищенню харчової цінності продукту, що відповідає сучасним тенденціям здорового харчування. Крім того, запропоновано рекомендації для промислового застосування, що сприяють зменшенню відходів соєвої промисловості та впровадженню екологічно орієнтованих рішень.

Дослідження має практичну значущість для харчової промисловості, дозволяючи створювати продукти із доданою вартістю та відповідати запитам ринку на функціональні харчові інгредієнти..

Ключові слова: харчова клітковина, соєві висівки, соєвий соус, функціональні інгредієнти, текстура, органолептичні властивості, екологічна ефективність, харчова цінність.

D. V. Ostapchuk, L. Y. Fedik, O. O. Smolyankin, L. M. Markina Development of soy product manufacturing: innovative approaches to using fiber from soybean husks in the production of soy sauce

The article is dedicated to the study of the potential use of dietary fiber obtained from soybean husks in the production of soy sauce. The work examines the technological aspects of processing soybean husks to obtain a product with consistent quality, as well as investigates the impact of adding fiber on the organoleptic and physicochemical properties of soy sauce. The functional characteristics of the obtained fiber, such as water retention capacity and texture formation, and their effects on the structure and stability of the final product, are analyzed.

The research results demonstrate the possibility of effectively integrating dietary fiber from soybean husks into the soy sauce recipe without significantly altering its taste and aromatic properties. The use of fiber contributes to improving the nutritional value of the product, which aligns with current trends in healthy eating. Furthermore, recommendations for industrial applications are provided, which promote the reduction of waste in the soy industry and the implementation of environmentally oriented solutions.

The study has practical significance for the food industry, enabling the creation of value-added products and meeting market demand for functional food ingredients.

Keywords: dietary fiber, soybean husks, soy sauce, functional ingredients, texture, organoleptic properties, ecological efficiency, nutritional value.

Проблема дослідження. Зростання споживання соєвих продуктів, зокрема соєвого соусу, обумовлює необхідність пошуку інноваційних підходів до його виробництва. Виробництво продуктів переробки сої, таких як клітковина з висівок, відкриває нові можливості для оптимізації технологій та підвищення їх економічної ефективності.

Мета статті: Метою статті є дослідження доцільності використання клітковини з висівок сої у виробництві соєвого соусу, визначення її впливу на органолептичні, фізико-хімічні та технологічні показники продукту.

Об'єкт дослідження: Процес виробництва соєвого соусу з інноваційним застосуванням харчової клітковини, отриманої з соєвих висівок. Дослідження зосереджене на технологічних аспектах інтеграції клітковини у виробничу лінію, а також на впливі її добавки на органолептичні характеристики, текстуру, фізико-хімічні властивості та харчову цінність кінцевого продукту..

Предмет дослідження: Автоматизована система керування технологічним процесом отримання біогазу.

Виклад основного матеріалу. Клітковина, отримана з висівок сої, є важливим компонентом для харчової промисловості завдяки своїм унікальним властивостям. Вона має високу адсорбційну здатність, що дозволяє ефективно утримувати воду та жири, сприяючи збереженню текстури продукту протягом тривалого часу. Дослідження показали, що клітковина з висівок сої також зменшує синерезис продуктів, що особливо актуально для рідких харчових продуктів, таких як соєвий соус [1].

Використання клітковини дозволяє знизити вміст крохмалю та стабілізаторів у рецептурі, що є важливим чинником для споживачів, які надають перевагу натуральним інгредієнтам. Завдяки її фізико-хімічним характеристикам, клітковина також здатна позитивно впливати на колоїдну стабільність соєвого соусу, запобігаючи розшаруванню та осадженню частинок під час зберігання.

Проведені дослідження засвідчили, що оптимальний рівень клітковини в молочно-білковій основі варіюється в межах 2–4%. Додавання меншої кількості клітковини може не забезпечити необхідного ефекту, а перевищення цього рівня впливає на смакові властивості продукту, роблячи його надмірно в'язким.

Експериментальне дослідження проводилося на зразках молочно-білкової основи з різним вмістом клітковини, оцінюючи їхню текстуру, в'язкість, смак та здатність утримувати воду. Отримані результати свідчать, що використання клітковини у зазначених пропорціях дозволяє досягти оптимального смакового профілю, що відповідає очікуванням споживачів.

Технологія виробництва соєвого соусу з додаванням клітковини передбачає корекцію стандартних технологічних параметрів. Зокрема, температура обробки продукту має бути в межах 90–95 °C для забезпечення інактивації антипоживних речовин, таких як інгібітори протеаз [2].

Тривалість термічної обробки має становити не більше 20 хвилин, щоб зберегти органолептичні властивості продукту. Важливим є правильне поєднання компонентів: клітковина додається до соєвої основи на етапі варіння з поступовим перемішуванням для забезпечення рівномірного розподілу у структурі продукту.

Після додавання клітковини до соєвого соусу було відзначено покращення органолептичних властивостей продукту. Клітковина сприяє збереженню насиченого смаку та аромату соєвого соусу, створюючи більш густу текстуру, яка є приємною для споживачів.

Фізико-хімічний аналіз готового продукту показав, що клітковина підвищує стабільність емульсій та зменшує рівень утворення осаду. Також дослідження зберігання соєвого соусу протягом шести місяців свідчать про те, що клітковина допомагає зберігати основні характеристики продукту, зокрема рівень pH, кольорові показники та однорідність.

Використання клітковини з висівок сої у виробництві соєвого соусу відкриває нові можливості для інновацій у харчовій промисловості. Це дозволяє зменшити витрати на традиційні стабілізатори та покращує поживну цінність продукту, роблячи його привабливішим для сучасного споживача [3].

Автоматизація виробничих процесів також сприяє більш ефективному впровадженню цієї технології. Використання MES-систем для управління виробництвом дозволяє оптимізувати дозування клітковини та контролювати параметри обробки, що забезпечує стабільну якість продукту.

Вимоги до системи автоматизації в контексті виробництва соєвих продуктів, таких як соєве молоко та соєвий соус, можуть бути різноманітні і охоплювати різні аспекти. Ось деякі загальні вимоги, які можуть бути застосовані:

Процес автоматизації виробництва:

– Автоматизація виробничих ліній: Впровадження автоматизованих систем для моніторингу та управління виробничими процесами, включаючи виробництво соєвого молока та соєвого соусу.

– Системи контролю якості: Використання автоматизованих систем для контролю якості сировини та готової продукції.

– Інтеграція технологій:

– Системи управління виробництвом (MES): Впровадження MES-систем для планування та оптимізації виробничих процесів.

– Інтеграція з ERP: Забезпечення зв'язку систем автоматизації з системами планування ресурсів підприємства для управління виробництвом та ланцюгом постачання.

– Безпека та нормативні вимоги:

– Системи безпеки: Впровадження систем безпеки для запобігання аварій та забезпечення безпеки працівників.

– Відповідність стандартам: Дотримання нормативів та стандартів безпеки в харчовій промисловості.

– Моніторинг та аналітика:

– Системи моніторингу в реальному часі: Використання систем для моніторингу параметрів виробництва в реальному часі.

– Аналітичні інструменти: Впровадження інструментів аналізу даних для оптимізації виробничих процесів та прийняття стратегічних рішень.

– Автоматизована логістика та управління запасами:

– Системи управління складами: Застосування систем для ефективного управління запасами сировини та готової продукції.

– Автоматизована логістика: Використання систем для відстеження руху сировини та готової продукції в логістичному ланцюгу.

– Сумісність та масштабованість:

– Сумісність з існуючими системами: Забезпечення сумісності автоматизованих систем з існуючими обладнанням та програмним забезпеченням.

– Масштабованість: Можливість розширення та масштабування системи в разі зростання виробничих потреб.

Враховуючи ці вимоги, система автоматизації може ефективно оптимізувати виробництво соєвих продуктів, забезпечуючи якість, безпеку та ефективність виробничих процесів.

Висновки. Дослідження показало доцільність використання клітковини з висівок сої у виробництві соєвого соусу. Впровадження цього інгредієнта дозволяє підвищити харчову цінність, оптимізувати текстурні характеристики та забезпечити стабільність продукту під час зберігання. Використання клітковини сприяє економії білкової сировини тваринного походження та відповідає сучасним теоріям здорового харчування**.**

Запропоновані технологічні рішення сприятимуть подальшому розвитку виробництва соєвих продуктів та підтримці тренду на економічну ефективність і здорове харчування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сидоренко, О. П., Ферментація в харчовій промисловості: Виробництво соєвого соусу, Науковий журнал "Харчова промисловість", № 2, 2022, с. 45-60.
2. Коваленко, Т. М., Сучасні методи виробництва соєвих продуктів, Журнал "Технології та інновації", № 3, 2023, с. 120-135.
3. Левченко, В. І., Вивчення технології виготовлення соєвого соусу в Україні, Журнал харчових технологій, № 1, 2024, с. 15-30.Онопрійчук, О. О. Сиркові пасти з зерновими інгредієнтами / О. О. Онопрійчук, О. В. Грек // Продовольча індустрія АПК. 2020. № 5. с. 35–38.