МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ТИЖДЕНЬ НАУКИ-2026

Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій

Збірник тез доповідей
щорічної науково-практичної конференції серед студентів, викладачів,
науковців, молодих учених і аспірантів
13–17 квітня 2026 року

Електронне видання на DVD-ROM

Запоріжжя • НУ «Запорізька політехніка» • 2026

УДК 621.3+004+519.6
Т39
Рекомендовано до видання Вченою радою Національного університету «Запорізька політехніка» (Протокол № 1 від 28.08.2026 р.)

Упорядник: Тетяна Бугрова, канд. техн. наук, доцент каф. радіотехніки та телекомунікацій
Редакційна колегія:
Вадим ШАЛОМЄЄВ , проректор з НР, д-р техн. наук, професор, (відпов. ред.) ;
Олексій КУЗЬКІН, д-р техн. наук, професор;
Василь ГЛУШКО, канд. техн. наук, доцент;
Євген ПАРАХНЄВИЧ, канд. техн. наук, доцент;
Микола АНТОНОВ, канд. техн. наук, доцент;
Ольга БАБЕНКО, канд. техн. наук, доцент;
Наталія ФУРМАНОВА, канд. техн. наук, доцент;
Марія ТЯГУНОВА, канд. техн. наук, доцент;
Тетяна ХІТРОВА, канд. філолог. наук, професор;
Світлана КОКАРЕВА, канд. наук з фіз. вих. і спорту, доцент;
Олена ВАСИЛЬЄВА, д-р економ. наук, професор;
Юрій ФІЛЕЙ, канд. юр. наук, професор;
Таісія ГАЙВОРОНСЬКА, канд. філос. наук, доцент;
Наталя ВИСОЦЬКА, начальник патентно-інформаційного відділу;
Наталія САВЧУК, начальник РВВ;
Сніжана ВИЧУЖАНІНА, керівник ВНРС;
Ганна ОМОК, канд.пед наук, доцент.

Т39 Т39 **Тиждень науки-2026. Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій** : тези доповідей науково-практичної конференції (м. Запоріжжя, 13–17 квітня 2026 р.) [Електронне видання] / редкол. : Вадим ШАЛОМЄЄВ (відп. ред.). Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2026. 130 с. 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM).

ISBN 978-617-529-551-9

Зібрані тези доповідей, заслуханих на щорічній науково-практичній конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів. Збірка відображає широкий спектр тематики наукових досліджень, що проводяться на факультеті інформаційної безпеки та електронних комунікацій Національного університету «Запорізька політехніка». Збірка розрахована на широкий загал дослідників та науковців

УДК 621.3+004+519.6

ISBN 978-617-529-551-9

© Національний університет
«Запорізька політехніка»
(НУ «Запорізька політехніка»), 2026

ЗМІСТ

Секція «Інформаційна безпека та наноелектроніка» 7
П.В. Пшеничний, А.В. Коротун. Огляд поглинаючих хвилевідних фільтрів надвисоких частот з частковим діелектричним заповненням 7
Л.М. Карпуков, В.О. Воскобойник. Метод реалізації в процедурі синтезу фільтрів на зв'язаних мікросмужкових лініях 9
М.П. Верещака, С.І. Лізунов. Моделювання процесів виявлення шкідливого трафіку на основі поведінкового аналізу 11
Г.В. Неласа, С.С. Самойлик, О.В. Неласий. Розробка інтерфейсної частини програмного забезпечення для торгівлі зеленою електроенергією із використанням блокчейну 14
А.О. Котелюк, А.В. Коротун, В.В. Погосов. Вплив поверхневого плазмонного резонансу на можливості маніпулювання наночастинками за допомогою сфокусованих лазерних променів 16
О.Р. Кучер, В.І. Рева, А.В. Коротун. Підсилення флуоресценції молекул за ахунок ближніх полів плазмонних наночастинок 17
Д.О. Голоднюк, В.І. Рева, А.В. Коротун. Якість та стандарти нагрівання злитків в регенеративних нагрівальних колодязях 19
Г.В.Сніжной, М.С.Скляр, К.Г.Сніжна. Удосконалення методу наближеної оцінки енергії активації рівнів кристала $Bi_{12}SiO_{20}$ 20
Г.В. Сніжной, М.Р. Грабова. Роль офіцера з інформаційної безпеки у забезпеченні захисту інформації 22
Г.В.СНіжной, Г.Ю. Харибін. Рекомендації щодо впровадження на комерційному підприємстві системи безпеки робочих станцій 24
К.В.Кириленко, О.В. Василенко. Цифровий таймер з конфігурованими часовими параметрами на основі програмованої логіки 34
О.О. Семенков, А.А. Попов, Г.Л. Козіна. Дослідження антивірусів, що чинні в Україні 36
Секція «Телекомунікації та радіотехніка» **39**
Т.І. Бугрова, М.П. Чорнобородов, І.В. Биков. Дротові антени як просторово-частотні фільтри 39
Т.І. Бугрова, І.М. Сметанін, О.С. Мулін. Дослідження впливу кількості пелюсток в антені cloverleaf на характеристики антени 41
М.П. Чорнобородов, Т.І. Бугрова, Л.М.Логачова, І.С.Отрощенко, О.В.Селезньова. Діаграми спрямованості об'ємних спіральних антен 43
В.О. Костенко, І.М Сметанін, Д.А. Купін. Моделювання погодних умов для зв'язку в мережі 5G 45
В.О. Костенко, Д.О. Фокін. Про еволюцію хендоверу в 5G мережі 47
Л.М. Логачова, С.В. Морщавка, А.В. Трухачов. Особливості вертолітних антен ближнього зв'язку 51

І.М. Сметанін, В.О. Костенко, Г.В. Мороз, Ф.К. Ковальчук. Дослідження переміщення абонентів бездротової мережі в групі 54
С.В. Морщавка, П.М. Пізик. Локальна нейромережева модель як оператор поширення радіосигналу у неоднорідних середовищах 56
С.В. Морщавка, С.Р. Рзаєв. Спосіб організації ітеративного поширення прогнозу радіопокриття 58
О.В. Гнєздовський, Д.А.Купін. Дослідження методів підвищення завадостійкості радіоелектронних систем із використанням LDPC-кодів..... 59
Д.Ю. Чуприна, С.С. Самойлик. Дослідження ефективності використання sdn у корпоративних мережах 61
С.В. Мезенок, С.С. Самойлик. Перехід на 5G технологію під час блекаутів в україні..... 62
Д.Ю. Плетінь, А.А. Красько, В.В. Трохименко, Г.В. Мороз. Дослідження планування радіомережі 5G NR для центру міста Львова 64
Д.Ю. Плетінь, Г.В. Мороз, І.М. Сметанін, В.О. Костенко. Метод боротьби з перешкодами в каналі прийому LI-FI..... 66
Секція «Інформаційні технології електронних засобів» 69
О.Ю. Малий, Н.І. Фурманова, О.Ю. Фарафонов. Методи автоматизованого визначення об’єктів на зображеннях та відео з використанням оптико-електронної системи 69
О.Ю. Малий, В.Ф. Онищенко, І.Є. Поспєєва. Розробка системи автоматичного керування роботом-маніпулятором типу SCARA для операцій «pick-and-place» 72
О. Ю. Малий, В.Ф. Онищенко, О.О. Піроженко. Веб-симулятор мікроконтролера RASPBERRY PI PICO 2 на базі архітектури RISC-V 76
О. Ю. Малий, С.А. Гарачук, О.С. Шевченко. Система керування електроприводами мобільного колісного робота під керуванням RASPBERRY PI 81
О.Ю. Малий, Н.І. Фурманова, О.Ю. Фарафонов. Розробка системи автоматичного керування двоколісним балансуючим роботом на базі каскадних PID-регуляторів..... 84
О. Ю. Малий, І.Є. Поспєєва, С.А. Гарачук. Система моніторингу та візуалізації стану бездротової інфраструктури об'єктів 88
Н.О. Миронова, С.В. Шаптала. Розробка навчально-дослідного прототипу робота-маніпулятора 91
О.Ю. Малий, Н.І. Фурманова, Д.А. Бордюг. Розробка комп’ютерно-інтегрованої системи дистанційного контролю параметрів 3D друку 93
О. Ю. Малий, О.О. Піроженко, Д.В. Кафтан. Розробка модуля системи протипожежного захисту з функцією автоматичного сповіщення про виникнення джерела вогню 96

Д.В. Щукін, Д.В. Федишен. Аналіз ефективності використання програмно-визначених радіосистем (SDR) у сучасних телекомунікаційних мережах 99
Д.В. Щукін, Д.Б. Удовцев. Недоліки та обмеження SDR 100
О.В. Щукін, М.Є. Могильна Інтелектуальний фармацевтичний термінал з розпізнаванням рукописних рецептів на базі ШІ 102
Д.В. Щукін, В.С. Фурман. Методи навчання нейронної мережі для розпізнавання літальних апаратів 104
О.В. Щукін, М.Є. Могильна, О.В. Мацкевич. Автоматизована система предиктивної візуалізації векторів загроз із функцією звукової сигналізації високої інтенсивності 105
Д.В. Щукін, І.П. Волік. Методи детекції літальних апаратів за допомогою штучного інтелекту 108
О.В. Щукін, Л.В. Бублик, Т.А. Дейдей. Використання модуля HLK-LD2410 для виявлення наближення об’єкта до контрольованої зони 110
Д.В. Щукін, Є.В. Чувічкін. Методи розпізнавання БПЛА в нічний час 111
М.К. Кобець, Н.О. Миронова. Розробка програмно-апаратного комплексу дистанційного керування безпілотною наземною платформою на базі MAVLINK 113
Д.О. Білка, Н.О. Миронова, Д.Є. Молочков. Система розпізнавання об’єктів для колаборативного робота на прикладі шахової дошки 114
М.Д. Логвіненко, М.В. Єфименко, Н.О. Миронова. Розробка системи моніторингу стану рослин у закритому ґрунті на базі технологій інтернету речей 116
О.С. Проскура, М.В. Єфименко, Н.О. Миронова. Розробка та моделювання алгоритму автономної навігації робота у середовищі WEBOTS 117
В.І. Приймак, Н.О. Миронова. Розробка цифрового двійника мобільного робота в симуляційному середовищі 118
І.М. Ткачов, Н.О. Миронова, Т.І. Куляба-Харитонова. Інклюзивний інтерфейс управління мобільними пристроями на базі ESP32 119
К.І. Немудрий, Н.О. Миронова, Т.І. Куляба-Харитонова. Розробка прототипу системи розумного опалення на базі мікроконтролера ESP32 для автоматизованого керування мікрокліматом приміщення 120
Д.В. Петров, М.В. Єфименко. Дослідження точності позиціонування та повторюваності двокоординатного електромеханічного модуля наведення в автоматизованій системі керування 122
І.С. Бушман, Н.О. Миронова, Д.Є. Молочков. Аналіз методів виявлення об'єктів у системах комп'ютерного зору 123
К.Є. Григорьєва, Т.І. Куляба-Харитонова. Автоматизована хмарна SCADA-система моніторингу та діагностики стану трансформаторних підстанцій .. 125

Є.В. Павлов, Н.О. Миронова, Т.І. Куляба-Харитонова. Розроблення програмного інтерфейсу взаємодії промислового робота з plc-контролером на основі протоколу OPC UA 126
В.С. Вишневецька, Н.О. Миронова. Розроблення системи моніторингу втоми скелетних м'язів 128

СЕКЦІЯ «ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА ТА НАНОЕЛЕКТРОНІКА»

УДК 621.372.8
Пшеничний П.В.[1], Коротун А.В.[2,3]
[1] асп. НУ «Запорізька політехніка»
[2] проф. НУ «Запорізька політехніка»
[3] с.н.с. Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України

ОГЛЯД ПОГЛИНАЮЧИХ ХВИЛЕВІДНИХ ФІЛЬТРІВ НАДВИСОКИХ ЧАСТОТ З ЧАСТКОВИМ ДІЕЛЕКТРИЧНИМ ЗАПОВНЕННЯМ

Сучасні системи радіолокації та зв'язку високої потужності стикаються з проблемою електромагнітної сумісності та захисту вихідних каскадів передавачів від відбитих хвиль. Традиційні рефлекторні фільтри відбивають енергію гармонік назад до джерела, що може спричинити пробої та нестабільність роботи генераторів. Поглинаючі (абсорбційні) фільтри з частковим діелектричним заповненням дозволяють не лише компактно реалізувати селекцію частот, а й забезпечити стабільний коефіцієнт стоячої хвилі (КСВ) у широкій смузі загородження, перетворюючи небажану енергію в тепло.

Метою дослідження є систематизація та аналіз існуючих конструкцій поглинаючих хвилевідних фільтрів, оцінка впливу геометричних параметрів та характеристик діелектричних поглиначів на ефективність придушення вищих мод, а також визначення оптимальних сфер їх застосування.

В рамках проведеного огляду авторами розглянуті наступні питання:

1. Фізичні механізми поглинання: аналіз розподілу електромагнітного поля у хвилеводі, частково заповненого діелектриком з втратами. В основі роботи таких фільтрів лежить явище дисипації електромагнітної енергії при взаємодії з речовиною.

2. Топології заповнення: порівняння центрального, пристінного та ступінчастого розміщення поглинаючих вставок. Геометрія розміщення діелектрика визначає селективні властивості фільтра:

– центральне розміщення (*E*-площина): пластина встановлюється в максимумі вектора *E*. Це забезпечує найвищий коефіцієнт згасання на одиницю довжини. Проте така топологія має найгірший відвід тепла;

– периметральне (пристінне) заповнення: шар поглинача наноситься на вузькі стінки хвилеводу. Це ідеально для фільтрації вищих мод, оскільки основна мода H_{10} має нульову напруженість поля біля стінок і проходить майже без втрат, тоді як вищі гармоніки інтенсивно поглинаються;

– дискретні поглинаючі елементи: використання окремих циліндрів або блоків, що дозволяє створювати резонансні «пастки» для конкретних частот загородження.

3. Узгодження структур: будь-яка вставка у хвилеводі створює стрибок хвильового опору, що призводить до відбиття сигналу (збільшення КСВ). Для мінімізації цього ефекту використовують:

– геометричні трансформатори: поглинач виготовляється у формі клину (одинарного або подвійного). Чим довша похила частина (зазвичай > 2λ), тим краще узгодження у широкій смузі частот;

– ступінчасті переходи: довжина кожної сходинки діелектрика становить чверть довжини хвилі (λ/4). Відбиття від кожної наступної сходинки компенсує відбиття від попередньої;

– градієнтне заповнення: використання матеріалів, діелектрична проникність яких плавно зростає вздовж осі поширення хвилі (від 1.0 до потрібного значення).

4. Матеріалознавчий аспект**:** огляд характеристик НВЧ-поглиначів на основі карбіду кремнію (SiC), феритів, керамічних композитів та сучасних метаматеріалів.

Порівняння досліджених типів фільтрів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика типів фільтрів

Критерій порівняння	**Фільтри з центральною вставкою**	**Фільтри з пристінними шарами**	**Структури з витікаючою хвилею**
Ефективність поглинання	Дуже висока (макс. поле *E*)	Середня (для основної моди)	Висока для вищих гармонік
Пропускна потужність	Низька (ризик перегріву центру)	Висока (відвід тепла через стінки)	Найвища (зовнішній поглинач)
Рівень КСВ	Залежить від якості клину	Стабільно низький	Мінімальний у широкій смузі
Складність виготовлення	Низька (проста вставка)	Середня	Висока (потребує перфорації)
Габарити	Мінімальні	Середні	Значні (зовнішні камери)

За результати проведеного дослідження можна зробити наступні висновки:

– поглинаючі фільтри з частковим заповненням є важливими для хвилевідних систем, де неможливе використання ізоляторів або циркуляторів високої потужності;

– для забезпечення максимальної потужності доцільно використовувати пристінні структури або схеми з витікаючою хвилею, незважаючи на їхню конструктивну складність;

– подальший розвиток напрямку полягає у використанні адитивних технологій (3D-друку) для створення діелектричних вставок зі складним градієнтом проникності, що дозволить ще більше зменшити габарити пристроїв.

УДК 621.372.852.1
Карпуков Л.М.[1], Воскобойник В.О.[2]
[1] проф. НУ «Запорізька політехніка»
[2] доц. НУ «Запорізька політехніка»

МЕТОД РЕАЛІЗАЦІЇ В ПРОЦЕДУРІ СИНТЕЗУ ФІЛЬТРІВ НА ЗВ'ЯЗАНИХ МІКРОСМУЖКОВИХ ЛІНІЯХ

Мікросмужкові фільтри на зв'язаних лініях (ЗВЛ) знаходять широке застосування в мікрохвильових пристроях обробки та захисту інформації завдяки поєднанню досить високих частотно-виборчих характеристик з компактністю конструкцій та технологічністю при масовому виробництві.

Структура фільтра на ЗВЛ наведена на рис. 1, вона складається з каскадного з'єднання відрізків двох зв'язаних ліній, довжиною λ/4.

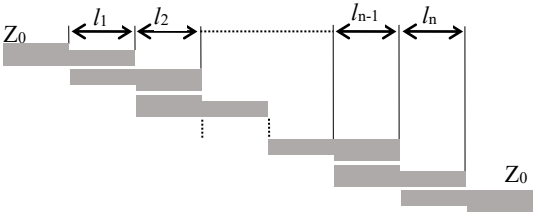


Рисунок 1 – Структура фільтра

Інженерна методика синтезу фільтрів на ЗВЛ заснована на використанні g параметрів *LC*-прототипу і моделі відрізка ЗВЛ у вигляді ідеального інвертора, включеного між чвертьхвильовими відрізками одиночних ліній з хвильовим опором Z_0 [1]. Формули для розрахунку за моделлю хвильових опорів парного та непарного видів коливань у мікросмужкових ЗВЛ мають вигляд:

$$\begin{cases} Z_{oв} = Z_0\left[1 + J_{i,k}Z_0 + \left(J_{i,k}Z_0\right)^2\right], \\ Z_{oo} = Z_0\left[1 - J_{i,k}Z_0 + \left(J_{i,k}Z_0\right)^2\right], \end{cases} \quad (1)$$

де $J_{i,k} = 0{,}5\pi\nu/\sqrt{g_i g_k}$ - параметри інвертора; g_i – параметри LC-фільтра-прототипу, $\nu = (\theta_2 - \theta_1)/\theta_0$ - граничні та центральна θ_0 електричні довжини смуги пропускання фільтра.

Методика синтезу на підставі фільтра прототипу та моделі (1) дає прийнятні характеристики для вузьких смуг пропускання. Для середніх та широких смуг пропускання потрібна корекція результатів синтезу.

Запропонована в роботі корекція результатів синтезу ґрунтується на оптимізації значень інверторів $J_{i,k}$ з використанням цільової функції

$$min \int_{\theta_1}^{\pi/2} \left(F_{\Phi}(\theta, J) - F_T(\theta)\right) d\theta,$$

де $F_T(\theta)$ - потрібна функція фільтрації, $F_{\Phi}(\theta, J)$ - функція фільтрації фільтра.

На рис.2 для смуги пропускання представлені результати розрахунку амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) Чебишовського фільтра при α_c=0,1 Дб, ν=0,15, числі ланок n=6 і функції

$$F_T(\theta) = \frac{\sin(2\theta)}{\sin(2\theta_1)}\left[16\left(\frac{\sin(2\theta)}{\sin(2\theta_1)}\right)^4 - 20\left(\frac{\sin(2\theta)}{\sin(2\theta_1)}\right)^2 + 5\right].$$

Крива 1 відповідає розрахунку АЧХ за традиційним методом синтезу, крива 2 – після корекції за запропонованою методикою.

Після корекції АЧХ фільтра набула рівнохвильової форми в заданій смузі $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ пропускання та більш крутих схилів.

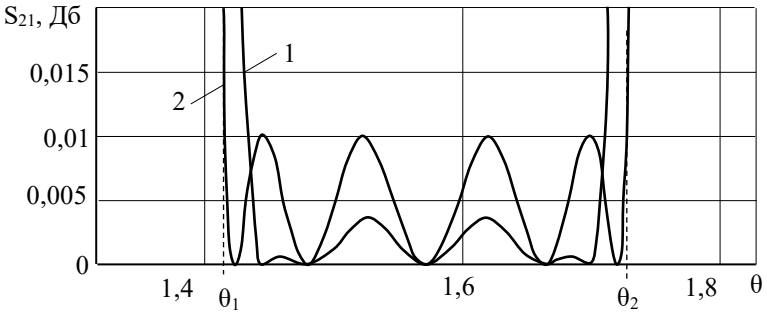


Рисунок 2 – Амплітудно-частотна характеристика фільтра

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Edwards T. C., Steer M. B. Foundations for Microstrip Circuit Design. IEEE Press, Wiley, 2016. 688 p. URL: http://download.e-bookshelf.de/download/0007/5437/39/L-G-0007543739-0013336502.pdf (дата звернення: 05.03.2026).

УДК 004.772

Верещака М.П.[1], Лізунов С.І.[2]
[1] аспірант гр. А-172-12 НУ «Запорізька політехніка»
[2] доцент НУ «Запорізька політехніка»

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВОГО ТРАФІКУ НА ОСНОВІ ПОВЕДІНКОВОГО АНАЛІЗУ

У сучасних умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій та глобалізації мережевих сервісів значно зростає кількість і складність кіберзагроз. Традиційні сигнатурні методи виявлення атак стають недостатньо ефективними, оскільки вони здатні ідентифікувати лише відомі шаблони атак і не враховують появу нових або модифікованих загроз. Це обмеження зумовлює необхідність використання поведінкових підходів, які базуються на моделюванні нормальної активності мережі та виявленні відхилень від неї.

Поведінковий аналіз у системах виявлення вторгнень (Intrusion Detection Systems, IDS) передбачає формування математичної моделі нормального мережевого трафіку. У такій моделі кожен мережевий сеанс описується вектором ознак:

$$X=\{x_1,x_2,...,x_n\}$$

де x_n — параметри мережевого трафіку (тривалість сесії, кількість пакетів, середній розмір пакета, кількість байтів, частота запитів тощо). Будь-яке відхилення від нормального профілю визначається як аномалія та класифікується як потенційно шкідлива активність.

У межах дослідження запропоновано модель виявлення аномального трафіку на основі поведінкового аналізу, яка включає наступні етапи:

1. Збір даних. Для навчання та тестування моделі використовується набір даних мережевого трафіку, наприклад CICIDS2017 [1], що містить реалістичні сценарії атак (DDoS, brute-force, botnet, тощо). Даний набір включає десятки параметрів, які описують поведінку мережевих потоків.

2. Попередня обробка даних. На цьому етапі виконується підготовка даних до аналізу: видалення пропущених та аномальних значень; нормалізація ознак (Min-Max або Z-score); усунення дублікатів; балансування класів за допомогою методів oversampling (SMOTE) або undersampling.

Цей етап є критично важливим, оскільки якість вхідних даних безпосередньо впливає на точність моделі.

3. Формування поведінкової моделі. Для побудови моделі використано комбінацію алгоритмів машинного навчання:

Random Forest — для класифікації трафіку на нормальний та шкідливий;

Autoencoder — для виявлення аномалій шляхом реконструкції вхідних даних;

Функція помилки автоенкодера визначається як:

$$E=||X-\dot{X}||,$$

де $\dot{X}$ — реконструйований вектор ознак. Якщо значення помилки перевищує заданий поріг, трафік класифікується як аномальний. Такий підхід дозволяє виявляти навіть невідомі типи атак без необхідності попереднього визначення сигнатур [2].

4. Виявлення аномалій. На етапі детекції застосовуються як класичні алгоритми, так і методи глибокого навчання: рекурентні нейронні мережі (LSTM) для аналізу часових залежностей; згорткові нейронні мережі (CNN) для виявлення прихованих шаблонів у трафіку.

Це дозволяє ефективно виявляти складні багатостадійні атаки, які не можуть бути визначені за допомогою простих статистичних методів [3].

5. Оцінка ефективності моделі. Для оцінки якості роботи моделі використовуються стандартні метрики:

Accuracy — загальна точність;

Precision — точність позитивних передбачень;

Recall — повнота виявлення атак;

F1-score — гармонійне середнє точності та повноти.

Матриця помилок дозволяє оцінити кількість: істинно позитивних (TP), хибно позитивних (FP), істинно негативних (TN) та хибно негативних (FN) результатів

Проведене моделювання показало, що використання поведінкового аналізу дозволяє: виявляти невідомі (zero-day) атаки; підвищити точність детекції до 90–95%; зменшити залежність від сигнатурних баз; адаптувати систему до змін у мережевому середовищі.

Моделювання процесів виявлення шкідливого трафіку на основі поведінкового аналізу є ефективним підходом до побудови сучасних систем кібербезпеки. Запропонована модель дозволяє реалізувати проактивний підхід до безпеки, при якому загрози виявляються на ранніх етапах їх розвитку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. CICIDS2017 Dataset [Електронний ресурс]. URL: https://www.unb.ca/cic/datasets/ids-2017.html (дата звернення: 08.03.2026).

2. Evaluation of Machine Learning Techniques for Traffic Flow-Based Intrusion Detection. [Електронний ресурс]. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9740321 (дата звернення: 08.03.2026).

3. Anomaly-based intrusion detection on benchmark datasets for network security: a comprehensive evaluation. [Електронний ресурс]. URL: https://www.nature.com/articles/s41598-026-38317-w (дата звернення: 08.03.2026).

4. Anomaly-based intrusion detection system for IoT networks through deep learning model. [Електронний ресурс]. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045790622001100 (дата звернення: 08.03.2026).

УДК 004.4: 004.5
Неласа Г.В. [1], Самойлик С.С. [2], Неласий О.В. [3]
1 доц. НУ «Запорізька політехніка»
2 доц. НУ «Запорізька політехніка»
3 асп. НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРОБКА ІНТЕРФЕЙСНОЇ ЧАСТИНИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ТОРГІВЛІ ЗЕЛЕНОЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЄЮ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БЛОКЧЕЙНУ

Метою роботи є вибір інформаційних технологій для реалізації інтерфейсної частини програмного забезпечення платформи для торгівлі зеленою електроенергією у вигляді веб-порталу та мобільного застосунку, з відповідними вимогами до прозорості, безпеки та децентралізації в архітектурі Web3 із використанням блокчейну, що дозволяє об'єднати надійність розподілених реєстрів із необхідним рівнем державного та системного контролю [1].

В результаті аналізу сучасних мов програмування та середовищ розробки авторами пропонується використовувати наступний стек технологій.

React [2]. Розширюючи базові можливості JavaScript, відкрита бібліотека React робить frontend-розробку швидшою та раціональнішою. Її архітектура пропонує розробникам зручний компонентно-орієнтований підхід, кросплатформні рішення, нативну швидкість рендерингу, зручне гаряче перезавантаження (Hot Reloading) та підтримку однієї з найбільших IT-спільнот у світі.

React Native [3]. При створенні мобільних застосунків за допомогою React Native ключову роль відіграє компонентна архітектура. Її суть полягає у тому, що весь інтерфейс збирається з незалежних «цеглинок» — компонентів. Кожен компонент (чи то проста кнопка, чи складний список) є самостійною одиницею з власною внутрішньою логікою та станом. Такий підхід дозволяє легко перевикористовувати код у різних частинах проєкту, що робить розробку та підтримку навіть найскладніших інтерфейсів логічною та зручною.

Expo [4]. Використання інструментарію Expo значно пришвидшує створення мобільних застосунків на React Native. Завдяки застосунку Expo Go можна миттєво запускати та тестувати код на своїх смартфонах без необхідності налаштовувати складне нативне середовище (Android Studio чи Xcode). Це ідеальне рішення для швидкого прототипування: воно пропонує легкий старт, доступ до вбудованих API пристрою та зручну систему дистрибуції. Проєкт можна ініціалізувати за лічені хвилини, а за потреби — без проблем масштабувати його до складнішої архітектури.

Ethers.js [5]. Для зв'язку frontend-частини веб- чи мобільного застосунку з блокчейном Ethereum використовується Ethers.js. Це компактна, але дуже потужна бібліотека, яка бере на себе всю роботу з Web3: від підключення до мережі (через гаманець MetaMask або сервіс Infura) до управління приватними ключами та відправки транзакцій до смарт-контрактів. Бібліотека чудово працює з TypeScript, що дозволяє уникнути багатьох помилок ще на етапі написання коду децентралізованого застосунку.

Таким чином, враховуючи, що в якості backend використовуються смарт- контракти на мові програмування Solidity, використання запропонованого авторами стеку технологій дозволить вести паралельну розробку вебсайту та полегшеного мобільного застосунку з використанням технології React як базової, що значно полегшить роботу команди програмістів та тестування програмного забезпечення, що розробляється.

Роботу виконано за держбюджетною темою «Розвиток розподіленої енергетики в умовах ринку електричної енергії України з використанням технологій та систем цифровізації. Розділ 1. Організаційні та математичні моделі взаємодії учасників децентралізованого ринку електроенергії» (ЦИФРОВІЗАЦІЯ), КПКВК 6541230.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Evdokimov V, Kudin A, Chikhladze V, Artemchuk V. A Blockchain Architecture for Hourly Electricity Rights and Yield Derivatives. FinTech. 2026. Vol. 5. No. 1. Art. 2. URL: https://doi.org/10.3390/fintech5010002 (дата звернення: 01.03.2026).

2. React. The library for web and native user interfaces [Електронний ресурс]. URL: https://react.dev (дата звернення: 01.03.2026).

3. Create native apps for Android, iOS, and more using React [Електронний ресурс]. URL: https://reactnative.dev (дата звернення: 01.03.2026).

4. Expo Go is a learning environment and sandbox for getting started [Електронний ресурс]. URL: https://expo.dev/go (дата звернення: 01.03.2026).

5. The ethers. js library [Електронний ресурс]. URL: https://docs.ethers.org/v6 (дата звернення: 01.03.2026).

УДК 535.8
Котелюк А.О.[1], Коротун А.В.[2,3], Погосов В.В.[2]
[1] студ. гр. БК-422 НУ «Запорізька політехніка»
[2] проф. НУ «Запорізька політехніка»
[3] с.н.с. Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України

ВПЛИВ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ НА МОЖЛИВОСТІ МАНІПУЛЮВАННЯ НАНОЧАСТИНКАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ СФОКУСОВАНИХ ЛАЗЕРНИХ ПРОМЕНІВ

Більше 50-ти років тому було продемонстровано можливість захоплення та маніпулювання мікрочастинками за допомогою оптичного пінцету – сильно сфокусованих лазерних променів. Вказану можливість забезпечує сила тиску випромінювання, яка виникає внаслідок поляризації мікрочастинок під дією світла.

Проте, надалі з'ясувалося, що маніпулювання наночастинками й окремими молекулами стикається з принциповими труднощами.

Це пов'язане з тим, що оптична сила, а отже, й утримуючий потенціал пропорційні поляризовності наночастинки, яка, в свою чергу, пропорційна її об'єму. Отже, при переході від мікро- до нанорозмірів утримуючий потенціал зменшується в $\sim 10^9$ разів і стає меншим за енергію теплових флуктуацій. Для вирішення цієї проблеми були запропоновані так звані плазмонні оптичні пінцети, які використовують локалізовані поверхневі плазмони для збільшення оптичної сили та можуть подолати обмеження та недоліки традиційних оптичних пінцетів.

Вказане вище зростання оптичної сили є можливим за рахунок суттєвого зростання поляризовності на частотах, близьких до частоти поверхневого плазмонного резонансу. При цьому рух захопленої наночастинки обмежений нанопростором, суттєво меншим за дифракційну межу світла. Крім того, плазмонне оптичне захоплення може бути поєднане з такими важливими практичними застосуваннями плазмоніки, як прискорення хімічних реакцій (фотокаталіз) та високочутливі хімічні і біологічні наносенсори на поверхневому плазмонному резонансі. Тому питання дослідження ефектів, що виникають при плазмонному оптичному захопленні та подальшому маніпулюванні наночастинками є актуальним.

Відомо, що підсилення електричних полів при збудженні поверхневих плазмонних резонансів призводить до зростання утримуючої наночастинку оптичної сили.

При цьому підсилення в околі ізольованої наночастинки є малим у порівнянні з підсиленням полів у зазорі між наночастинками. Тому в роботі дос-

ліджуватимемо частотну залежність поздовжнього підсилення полів у зазорі між наночастинками. Вираз для такої залежності має вигляд [1]

$$\mathscr{F}_{\parallel} = 16\sqrt{\tilde{n}_g}\ln 2\left(\frac{R}{d}\right)^2 Q(\omega), \qquad (1)$$

де R – радіус наночастинок (вважаємо, що наночастинки мають однаковий радіус та виготовлені з одного металу); d – відстань між наночастинками; $\tilde{n}_g$ – діелектрична проникність матеріалу зазору; $Q(\omega)$ – частотна залежність добротності зазору, який у розглянутому випадку можна вважати плазмонним резонатором – пасткою для захоплених об'єктів, розмір яких менший за величину зазору (наприклад, органічних молекул).

За результатами розрахунків було встановлено, що підсилення полів суттєво зростає зі зменшенням розміру зазору, особливо в нанометровому діапазоні. Таке суттєве підсилення локальних електричних полів забезпечує великий внесок градієнта поля в утримуючі сили.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zhang Y., Min C., Dou X., Wang X., Urbach H. P., Somekh M. G., Yuan X. Plasmonic tweezers: for nanoscale optical trapping and beyond. *Light: Science & Applications*. 2021. Vol. 10. Art. 59.

УДК 535.8
Кучер О.Р.[1], Рева В.І.[2], Коротун А.В.[3,4]
[1] студ. гр. БК-423сп НУ «Запорізька політехніка»
[2] доц. НУ «Запорізька політехніка»
[3] проф. НУ «Запорізька політехніка»
[4] с.н.с. Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України

ПІДСИЛЕННЯ ФЛУОРЕСЦЕНЦІЇ МОЛЕКУЛ ЗА РАХУНОК БЛИЖНІХ ПОЛІВ ПЛАЗМОННИХ НАНОЧАСТИНОК

Відомо, що на поверхні металевих наночастинок при резонансі падаючих фотонів та колективних коливань вільних електронів метала збуджуються локалізовані поверхневі плазмони. Внаслідок збудження таких резонансів відбувається значне підсилення електричних полів в околі наночастинок. Такі підсилені поля використовують у в багатьох практично важливих застосуваннях, зокрема, підсиленій поверхнею раманівській спектроскопії (SERS),

плазмонній літографії, прискоренні хімічних реакцій, плазмонному захопленні нанорозмірних об'єктів. У випадку, коли молекули флуорофора знаходяться поблизу металевих наночастинок, може суттєво підсилитися інтенсивність випромінювання молекул та швидкість радіаційного розпаду, змінитися кутовий розподіл випромінювання та його поляризація [1].

Все це сприяє широкому використанню плазмон-підсиленої флуоресценції в медичних, біологічних та хімічних дослідженнях. У зв'язку з цим створення різних математичних моделей для теоретичного дослідження підсиленої за рахунок плазмонних резонансів флуоресценції є актуальною задачею.

В роботі побудовано модель для дослідження розмірних і частотних залежностей інтенсивності флуоресценції (числа випромінених молекулою фотонів за одиницю часу).

Загальний вираз для цієї характеристики флуоресценції має вигляд

$$\mathcal{F} = \frac{C_{\text{sca}}}{C_{\text{abs}} + C_{\text{sca}}} W_{\text{abs}} N_0 , \tag{1}$$

де N_0 – число падаючих фотонів; C_{abs} і C_{sca} – перерізи поглинання і розсіювання плазмонної наночастинки, а ймовірність поглинання фотонів за одиницю часу

$$W_{\text{abs}} = C_{\text{abs}} I_0 , \tag{2}$$

I_0 – інтенсивність падаючого світла

Підставляючи вираз (2) у формулу (1), матимемо

$$\mathcal{F} = \frac{C_{\text{abs}} C_{\text{sca}}}{C_{\text{abs}} + C_{\text{sca}}} N_0 I_0 . \tag{3}$$

Вводячи ефективності поглинання $Q_{\text{abs}} = C_{\text{abs}} / S$ і розсіювання $Q_{\text{sca}} = C_{\text{sca}} / S$ (S – геометричний переріз наночастинки), одержимо для безрозмірної інтенсивності флуоресценції наступний вираз

$$\tilde{\mathcal{F}} = \frac{Q_{\text{abs}} Q_{\text{sca}}}{Q_{\text{abs}} + Q_{\text{sca}}} . \tag{4}$$

Потрібно відмітити, що вираз (4) є справедливим для наночастинок будь-якої форми, виготовлених із будь-якого плазмонного матеріалу і розташованих у довільному пасивному діелектричному середовищі.

З цього випливає, що підсиленням флуоресценції можна керувати шляхом як зміни форми, розмірів і матеріалів наночастинок, так і матеріалу оточуючого систему «наночастинка – молекула» середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Dong J., Zhang Z., Zheng H., Sun M. Recent Progress on Plasmon-Enhanced Fluorescence. Nanophotonics. 2015. Vol. 4. No. 4. P. 472-490.

УДК 006.91

Голоднюк Д.О.[1], Рева В.І.[2], Коротун А.В.[3,4]
[1] студ. гр. БК-423сп НУ «Запорізька політехніка»
[2] доц. НУ «Запорізька політехніка»
[3] проф. НУ «Запорізька політехніка»
[4] с.н.с. Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України

ЯКІСТЬ ТА СТАНДАРТИ НАГРІВАННЯ ЗЛИТКІВ В РЕГЕНЕРАТИВНИХ НАГРІВАЛЬНИХ КОЛОДЯЗЯХ

Регенеративні колодязі це невід'ємний етап виробництва на металургійних підприємствах з виробництва чорних металів.

Метал, що випускають мартенівські печі потрапляє до відділення розливки, де розливається у виливальниці різних типів та розмірів.

Далі, метал транспортується до стріперного відділення де певна плавка роздягається та поступає до відділення нагрівальних колодязів.

Тут відбувається дуже важливий етап виробництва.

Оскільки метал за час транспортування втрачає свою температуру і прокатати його стає неможливим. У нагрівальних колодязях ведеться процес нагрівання злитків, з одночасним контролем якості відповідно до стандартів нагріву відповідної плавки.

В залежності від характеристик металу (різні марки сталі; різні типи та розміри; з зауваженнями та без), під час його нагрівання потрібно контролювати сам процес, коригувати його, відстежувати покази з контрольно-вимірювальних приладів, слідкувати за відповідністю певного металу з нагрівом, коригувати калорійність газово-повітряної суміші та час спрацювання перекидних клапанів та багато іншого.

Адже якщо процес нагрівання буде виконано неякісно (не відповідно до стандартів), це може призвести до утворення у металі таких дефектів як перепал, утворення тріщин, внутрішні напруження, втрати металу та ін.

УДК 535.3: 535.212
Сніжной Г.В.[1], Скляр М.С.[2], Сніжна К.Г.[3]
[1] д-р. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. БК-423 НУ «Запорізька політехніка»
[3] студ. гр. БАД-533 НУ «Запорізька політехніка»

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ НАБЛИЖЕНОЇ ОЦІНКИ ЕНЕРГІЇ АКТИВАЦІЇ РІВНІВ КРИСТАЛА $BI_{12}SIO_{20}$

Кристал Bi12SiO20 є активним діелектриком, що робить його цікавим об'єктом для функціональної електроніки. Він має гарні п'єзоелектричні, електрооптичні та фотопровідні властивості. Унікальна комбінація таких різних фізичних властивостей зумовлює його застосування в оптоелектроніці в якості активного осередку для просторово-часових модуляторів світла, акустичних ліній затримки, динамічних пристроях запису голограми в реальному часі, змішуванні хвильового сполучення, оптичних кореляторах і оптичних лазерних системах для адаптивної кореляції.

Для інтерпретації зазначених властивостей використовується теорія активних енергетичних рівнів (пасток), які виникають у разі порушення стехіометрії (дефекти), легування різними елементами (наприклад галій, алюміній). Для визначення параметрів активних енергетичних рівнів (глибина заляган-ня, переріз захоплення, концентрація центрів) використовуються різні методи, які включають релаксаційні та спектроскопічні підходи. Це термоактивацій-на та ємнісна спектроскопія, вимірювання фотопровідності. Різновидами метода термоактиваційної спектроскопії є методи термостимульованої провідності, термостимульованої поляризації та термостимульованої деполяризації (ТСД).

У випадку ТСД процес міграції заряду відбувається у внутрішньому полі, що самоузгоджено змінюється при нагріванні. Метод ТСД передбачає проведення наступного експерименту. Зразок поляризують зовнішнім електричним полем за підвищеної температури, потім охолоджують до низької температури і відключають поле. При подальшому повільному нагріванні «заморожені» диполі чи заряди повертаються в рівноважний стан, створюючи слабкий струм. Залежність струму деполяризації від температури є кривою ТСД з піками (максимумами), становище і форма яких залежить від енергії активації, величини накопиченого заряду і його релаксації.

Для визначення параметрів активних енергетичних рівнів використовують різні методи: метод наближеної оцінки енергії активації, метод Гарліка-Гібсона, метод Парфіановича-Богуна-Буса, метод Гроссвейнера [1]. Застосування конкретного методу визначається набором параметрів, що входять, а також експериментально отриманими значеннями струму ТСД. Залежність

може містити добре структуровані піки з чітко вираженими підйомом та спадом. Це ідеальна ситуація щодо розрахунків. На практиці спектри можуть мати слабо виражену структуровану форму.

Використання більш простих методів передбачає знання деяких постійних величин (констант), що характеризують процес релаксації заряду. Метою даних досліджень було визначення таких констант, що обумовлює можливість використання більш зручних методів визначення енергії активації.

Експериментальні дослідження струмів ТСД кристалів $Bi_{12}SiO_{20}$ наведено на рис. 1.

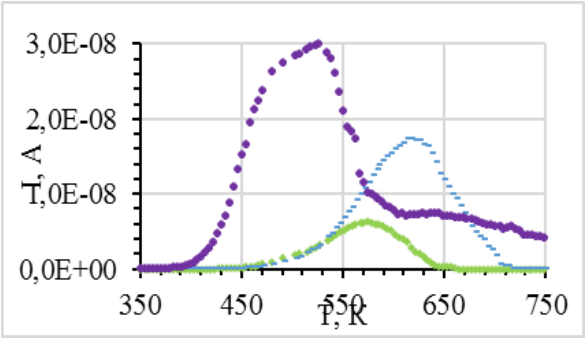


Рисунок 1 – Залежність струмів ТСД від умов поляризації: T_p = 500 К, E_p = 6 кВ·см$^{-1}$, де (♦) освітлення зеленим, (–) синім, (•) ультрафіолетовим світлом.

Отримані методом Гарліка-Гібсона наступні значення енергії активації для освітлення зеленим світлом – 0,77 еВ, синім – 0,88 еВ, ультрафіолетовим – 1,17 еВ. Даний метод є найбільш універсальним (не вимагає знань кінетики перезахоплення) та характеризується мінімальною похибкою. Зіставлення методу Гарлика – Гібсона та методу наближеної оцінки енергії активації показало, що коефіцієнт пропорційності А у методі наближеної оцінки буде 15,49 (для зеленого освітлення), 16,51 (для синього) та 25,88 для ультрафіолетового освітлення кристалу $Bi_{12}SiO_{20}$. Раніше використовували А=20, що, як показано, призводило до більшої невизначеності одержаних значень енергії активації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сніжной Г. В. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни “Методи та засоби вимірювань, випробувань та контролю” для студентів спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна

техніка» денної і заочної форм навчання. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. 72 с. URL: http://eir.zp.edu.ua/handle/123456789/8395 (дата звернення: 02.03.2026).

УДК 004.056.5
Сніжной Г.В. [1], Грабова М.Р. [2]
[1] проф. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. БК-713 НУ «Запорізька політехніка»

РОЛЬ ОФІЦЕРА З ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

Офіцер з інформаційної безпеки (Information Security Officer, ISO) — це фахівець, який відповідає за розробку та впровадження політик захисту даних, управлінням ризиками, моніторингом інфраструктури, реагуванням на кіберінциденти та підвищенням рівня обізнаності співробітників [1]. Основна мета цієї посади – забезпечення конфіденційності, цілісності та доступності інформації.

У своїй роботі він не лише формує правила та процедури поводження з даними, а й систематично адаптує їх до актуальних викликів і загроз. Значна увага приділяється аналізу можливих ризиків та внутрішньому аудиту — це допомагає вчасно знаходити слабкі місця й розуміти, наскільки дієвими є встановлені бар'єри захисту. Це дозволяє швидше реагувати на потенційні загрози. Паралельно забезпечується технічна безпека: налаштовуються системи захисту, контролюється резервне копіювання, а також відстежується підозріла активність у мережі.

Під час інцидентів офіцер координує дії щодо їх усунення, мінімізує наслідки та запобігає повторним атакам. Окремий акцент він робить на управлінні правами доступу та навчанні команди, оскільки саме людські помилки найчастіше стають найбільш уразливим елементом. Уся діяльність здійснюється з дотриманням правових норм і законодавчих вимог, що регулюють безпеку та конфіденційність даних.

У той самий час обов'язки офіцера з інформаційної безпеки не обмежуються лише технічними завданнями. В умовах активного розвитку цифрового середовища він також долучається до протидії кібербулінгу, особливо коли йдеться про захист дітей [2, 3]. Експерти допомагають вчасно помічати прояви онлайн-цькування, оперативно реагують на появу образливих чи небезпечних матеріалів, співпрацюють із профільними службами та онлайн-платформами, а також проводять роз'яснювальну роботу [4, 5].

Зазвичай кібербулінг проявляється через постійні образи, погрози чи розповсюдження вигаданих і принизливих відомостей, використання чужих фото без дозволу чи створення фейкових акаунтів для тиску. У подібних випадках критично важливо не просто припинити цькування, а й забезпечити захист постраждалих, зокрема їхніх персональних даних. Тому сьогодні інформаційна безпека стосується не тільки технологій, а й створення безпечного середовища для спілкування та розвитку, зокрема для молоді.

Для більш глибокого розуміння проблеми важливо також звернути увагу на ознаки кібербулінгу та способи реагування на нього.

Ознаки кібербулінгу не завжди є очевидними, однак існує ряд поведінкових змін, які можуть свідчити про те, що дитина зазнає онлайн-цькування. Зокрема, це може проявлятися у зменшенні спілкування з однолітками та родиною, небажанні відвідувати навчальні заклади або інші місця, де є ровесники, а також у різких змінах настрою. Дитина може ставати більш замкнутою, тривожною, втрачати інтерес до звичних занять і хобі. Іноді спостерігаються й фізичні прояви, такі як головний біль, порушення сну чи загальна нервозність.

У таких ситуаціях важливо своєчасно та правильно реагувати. Передусім необхідно підтримати дитину, вислухати її без осуду та створити атмосферу довіри.

Важливо також зберігати докази випадків кібербулінгу, зокрема скріншоти повідомлень чи коментарів.

Доцільним є блокування кривдника та звернення до адміністрації онлайн-платформ із відповідною скаргою [6, 7]. У разі потреби варто змінити контактні дані та налаштування конфіденційності, а також навчати дитину правилам безпечної поведінки в інтернеті, зокрема захисту особистої інформації.

Таким чином, робота офіцера з інформаційної безпеки охоплює широкий спектр напрямів: вона поєднує технічний захист, організаційні заходи та освітню роботу, спрямовану на формування культури безпечної поведінки в цифровому просторі, що ґрунтується на взаємній повазі, дотриманні особистих меж і недопущенні завдання шкоди іншим.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кіберполіція України. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. URL: https://cyberpolice.gov.ua (дата звернення: 02.03.2026).

2. Міністерство освіти і науки України. Протидія булінгу. [Електронний ресурс]. URL: https://mon.gov.ua (дата звернення: 02.03.2026).

3. Державна служба спеціального зв’язку та захисту інформації України. [Електронний ресурс]. URL: https://dsszzi.gov.ua (дата звернення: 02.03.2026).

4. Національна гаряча лінія «Ла Страда — Україна» [Електронний ресурс]. URL: https://la-strada.org.ua (дата звернення: 02.03.2026).
5. StopBullying. Інформаційна платформа з протидії булінгу [Електронний ресурс]. URL: https://stopbullying.com.ua (дата звернення: 02.03.2026).
6. UNICEF Україна. Кібербулінг: як розпізнати та що робити [Електронний ресурс]. URL: https://www.unicef.org/ukraine (дата звернення: 02.03.2026).
7. Освітній проєкт «Дія.Цифрова освіта». Безпека дітей в інтернеті [Електронний ресурс]. URL: https://osvita.diia.gov.ua (дата звернення: 02.03.2026).

УДК 004.056.5
Сніжной Г.В. [1], Харибін Г.Ю. [2]
[1] проф. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. БК-813 НУ «Запорізька політехніка»

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ НА КОМЕРЦІЙНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ РОБОЧИХ СТАНЦІЙ

В умовах стрімкої цифровізації бізнес-процесів інформаційна безпека підприємства стає визначальним фактором його стабільності. Для компанії захист комерційної таємниці, клієнтських баз, фінансової звітності та логістичних ланцюгів є пріоритетом. Метою дослідження є розробка регламенту Системи безпеки робочих станцій (СБРС) на засадах конфіденційності, цілісності та доступності даних [1].

Технічне забезпечення робочих місць співробітників, а саме апаратне забезпечення розподіляється на основі принципу необхідної достатності для виконання посадових обов'язків. Усі ПК підключені до корпоративної локальної обчислювальної мережі (ЛОМ) з доступом до Інтернету через корпоративний шлюз безпеки. Керівництву підприємства пропонуються ноутбуки бізнес-класу (для забезпечення мобільності та роботи у відрядженні) із вбудованими модулями TPM 2.0 та апаратні токени для зберігання кваліфікованого електронного підпису (КЕП). Для відділу бухгалтерського обліку пропонуються настільні ПК стандартної продуктивності, монітори 24"-27" (для зручної роботи з таблицями), спільний мережевий лазерний принтер, апаратні токени (КЕП), джерела безперебійного живлення (ДБЖ). Відділ закупівель та продажів укомплектовується настільними ПК або корпоративними ноутбуками, гарнітурами для IP-телефонії, спільним мережевим БФП. Можливо додаткове обладнання, а саме спеціалізований промисловий ПК або захищений планшет, сканер штрих-кодів/QR-кодів, принтер етикеток. Робоче місце офіцер з інформаційної безпеки укомплектовується високопродуктивною

робочою станцією, двома моніторами (для моніторингу трафіку, подій безпеки). Важливим є наявність виділеного зашифрованого зовнішнього накопичувачу для резервного копіювання конфігурацій безпеки.

Програмне забезпечення робочих місць встановлюється виключно системним адміністратором за погодженням з Офіцером з ІБ на основі посадових інструкцій (Принцип найменших привілеїв). Усі робочі станції мають базовий набір: ОС (наприклад, Windows 11 Pro / Enterprise), корпоративний антивірус (EDR-агент), офісний пакет, корпоративний месенджер та поштовий клієнт. Відповідно до функціоналу співробітників на робочих станціях встановлюється наступне програмне забезпечення:

1. Керівництво: ERP-система (модуль аналітики та управління), ПЗ для підписання документів (M.E.Doc), захищений VPN-клієнт для віддаленого доступу.
2. Бухгалтерія: Спеціалізоване облікове ПЗ (наприклад, BAS ERP, BAS Бухгалтерія), система подачі звітності (M.E.Doc), ПЗ для роботи з Клієнт-Банком.
3. Відділ закупівель (Китай/Тайвань): ERP-система (модуль закупівель), спеціалізовані захищені месенджери для зв'язку з азійськими партнерами (WeChat, Signal), VPN-клієнт для забезпечення безпечного каналу зв'язку.
4. Відділ продажів: CRM-система, програмний клієнт IP-телефонії, поштовий клієнт.
5. Офіцер з ІБ: Консоль управління SIEM-системою (збір та аналіз логів), консоль антивірусного управління (EDR/XDR), сканери вразливостей (напр., Nessus), ПЗ для аналізу мережевого трафіку (Wireshark), консоль адміністрування Firewall.

Паролювання, ідентифікація та шифрування даних виконується за вимогами: довжина пароля — не менше 12 символів (великі, малі літери, цифри, спецсимволи). Зміна пароля кожні 90 днів. Заборонено використання попередніх 5 паролів.

З метою запобігання візуальному витоку даних встановлюється автоматичне блокування робочої станції через 5 хвилин неактивності. Заборонено залишати розблокований ПК без нагляду ("Політика чистого столу та екрану"). Усі накопичувачі на ноутбуках та ПК шифруються за допомогою технології BitLocker / FileVault.

У разі крадіжки ноутбука (наприклад, у директора) дані неможливо буде прочитати. Передача даних через мережу Інтернет здійснюється виключно зашифрованими протоколами (HTTPS, TLS, IPsec/OpenVPN). Загальне резервне копіювання виконується за правилом «3-2-1» (3 копії, 2 різні носії, 1 копія поза офісом). Резервне копіювання бази даних (ERP, Бухгалтерія) виконується за правилом: інкрементне копіювання – кожні 4 години, повне – щодня вночі.Дані користувачів зберігаються не на локальних дисках комп'ютерів

(робочі станції), а на захищених мережевих дисках (File Server). Серверні файли бекапляться щодня. Резервні копії перевіряються на можливість відновлення (Restore Test) Офіцером з ІБ щомісяця.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ ISO/IEC 27001:2023. Інформаційна безпека, кібербезпека та захист конфіденційності. Системи керування інформаційною безпекою (ISO/IEC 27001:2022, IDT). [Чинний від 2023-08-17]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. 19 с.

УДК 004.056;004.032.26

Kyrychenko O.V.[1], Vasylenko O.V.[2]
[1] студ. гр. БК-815м НУ «Запорізька політехніка»
[2] доц. НУ «Запорізька політехніка»

DEFENSE SYSTEM FOR SENSOR NODES OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

The rapid development of the Industry 4.0 paradigm and the massive implementation of Internet of Things (IoT) technologies have led to the formation of complex cyber-physical systems (CPS) [1]. Today, CPS are the foundation of critical infrastructure: from smart grids and automated production lines to life support systems and autonomous transport. The main feature of such systems is the deep integration of computational (cybernetic) processes with the physical environment. However, this integration generates fundamentally new vectors of cyber threats aimed not at stealing information, but at destabilizing or destroying physical objects. Traditional information security methods (firewalls, antivirus software, classical cryptography) focus on protecting data in transit (in the communication channel) and preventing unauthorized access to higher-level IT infrastructure.

However, they prove vulnerable to intelligent attacks at the lowest, hardware level – the level of sensor nodes [2]. If an attacker gains the ability to manipulate the analog signal in the physical environment or replace the measuring sensor itself (False Data Injection, Stealthy, Replay attacks), the microcontroller's cryptographic mechanisms will encrypt the compromised data, and the control system will accept them as legitimate.

Analysis of real incidents (e.g., the Stuxnet virus) [3] proves the critical need to transition to end-to-end verification systems that confirm not only the cryptographic integrity of packets but also the physical authenticity of the measurements themselves [4]. That is why the development of comprehensive, multi-level securi-

ty systems based on a hardware "root of trust" and semantic analysis using AI methods is a highly relevant scientific and practical task.

The aim of the work is the development and software modeling of a conceptual multi-level cyber defense architecture for sensor nodes of cyber-physical systems, which provides comprehensive verification of measurement data using hardware key generation, active sensing methods, and semantic analysis based on adaptive filters and recurrent neural networks.

To achieve this aim, the following research tasks were formulated and solved: to analyze the specifics of data collection in information and measurement systems and classify modern vectors of intelligent attacks on the hardware level of CPS (FDI, Stealthy, Replay); to investigate existing practical approaches to ensuring the hardware integrity of end nodes, in particular the use of Physical Unclonable Functions (PUF); to consider the mathematical apparatus of anomaly detection based on the physics of processes (Physics-based Detection) and methods of active watermarking of analog signals; to design a conceptual multi-level security architecture combining isolated execution of cryptographic operations (TrustZone) with dynamic semantic analysis; to develop and justify a mathematical model of an adaptive residual detection threshold for the classical Kalman filter and an extended digital twin based on an LSTM neural network; to perform a software simulation of the developed architecture to confirm its effectiveness under conditions of non-stationary noise and stealthy cyberattacks.

The object of the research is the processes of collection, primary processing, cryptographic protection, and transmission of measurement information from end sensor nodes to control controllers within cyber-physical systems.

The subject of the research is the methods, algorithms, and comprehensive engineering solutions for ensuring data integrity, reliability, and hardware authenticity based on PUF technologies, Kalman filters, and Long Short-Term Memory (LSTM) neural networks.

Research methods. In the process of performing the work, the following were applied: methods of system analysis (to form a multi-level security architecture); automatic control theory (to describe the dynamics of CPS in the state space); mathematical statistics (to calculate residuals and adaptive detection thresholds); machine learning (to approximate non-linear physical processes using LSTM); cryptographic information protection methods; and computer modeling methods (for software simulation of the developed monitoring algorithms).

Practical significance of the obtained results.

The proposed architectural model and adaptive detection algorithms can be used as a theoretical and algorithmic foundation for developing real security monitoring systems at critical infrastructure facilities, which will significantly increase their cyber resilience against intelligent physical-layer attacks.

REFERENCES

1. Henderson K., Salado A. Value and benefits of model-based systems engineering (MBSE): Evidence from the literature. *Systems Engineering*. 2021. Vol. 24. P. 51–66. DOI: 10.1002/sys.21566.

2. Pasupuleti M. K. Modeling and Simulation with MATLAB, Simulink, and Python [Online resource]. 2026. URL: https://www.researchgate.net/publication/399882757 (дата звернення: 14.03.2026).

3. Digital Twins as a Tool for Strategic Planning and Sustainability in Industry [Online resource]. 2025. URL: https://www.researchgate.net/publication/385612345_Digital_Twins_Siemens_Xcelerator (дата звернення: 14.03.2026).

УДК 621.311.243; 621.317; 681.51

Savchenko A.O.[1], Savchenko N.O.[1], Vasylenko O.V.[2]

[1] студ. гр. БК-412 НУ «Запорізька політехніка»

[2] доц. НУ «Запорізька політехніка»

DEVELOPMENT OF MONITORING AND CONTROL SYSTEMS FOR PRIVATE PV PLANTS

Over the past five years, system modeling and automated design have undergone a radical transformation, shifting from the separate design of components to the creation of integrated cyber-physical systems.

The main academic trend has been the introduction of the concept of Digital Twins, which ensure continuous data exchange between a virtual model and a real physical object at all stages of its life cycle. In parallel with this, the MBSE [1] (Model-Based Systems Engineering) approach has gained traction, allowing for the integration of mechanical, electronic, and software components within a single modeling environment, thereby minimizing compatibility risks as early as the architecture development stage.

Modeling principles have been significantly updated thanks to the development of cloud platforms and real-time tools. Platforms such as NVIDIA Omniverse and the updated MATLAB/Simulink [2] and Autodesk Fusion 360 suites have shifted the focus toward multiphysics modeling and photorealistic simulation of robotics.

A key milestone was the widespread adoption of open-source environments and the integration of specialized software into educational and research processes. These tools enable high-precision calculations of semiconductor structures and

digital automata, capabilities previously available only in highly specialized laboratory packages.

Artificial intelligence has become a defining factor in development, evolving from a supporting tool to the core of the design process. The introduction of generative design based on neural networks has made it possible to automatically create optimal part topologies that cannot be developed using traditional methods.

In addition, AI has radically impacted control systems through the use of reinforcement learning, which ensures the adaptability of mechatronic modules to changing environments. New approaches have also extended to the field of Edge AI, where data processing algorithms are integrated directly into microcontrollers, allowing systems to make autonomous decisions in real time without delays caused by data transmission to the cloud.

Let's examine the development of the modeling industry using Siemens as an example [3]. The effect of Siemens monopoly is reinforced by a phenomenon known as vendor lock-in. Thanks to proprietary data exchange standards and unique functional objects (Technology Objects), Siemens modules work perfectly within the ecosystem but require significant adaptation costs when attempting to integrate with third-party systems.

Siemens strategy to dominate the software module market, particularly through the Integrated Development Architecture (IDA) concept and the TIA Portal ecosystem, is viewed as the creation of a closed, self-contained infrastructure. The main mechanism of "monopolization" is based on the principle of vertical integration, where software (PLM, TIA Portal) is inextricably linked to hardware (S7-1500 controllers, drives).

Recently, Siemens has been transforming its dominant position as an Industry 4.0 leader in the field of digital manufacturing through the Xcelerator platform, which is formally positioned as open but effectively cements the company's leadership through control over critical interfaces (APIs).

Academic case studies highlight that the company's strategy has shifted from protecting physical media to dominating the Industrial Edge and cloud computing sectors.

By controlling the software layer where modules are developed and integrated, Siemens dictates automation standards for entire industries, effectively turning its architecture into an industry standard-the highest form of market dominance.

Siemens is acquiring software developers specializing in simulation (such as Altair Engineering, Mentor Graphics, or CD-adapco) to build a complete Digital Twin of a product that bridges the virtual and physical worlds, enabling engineers to design, test, and run a factory or component in a simulation before any materials are used; create a closed-loop cycle (Digital Thread) where the design and production stages are linked (if something changes in the model, the data is automatically transferred to Siemens machines at the factory and vice versa).

Siemens recently acquired Altair, gaining access to the world's best artificial intelligence for simulations, which allows for the prediction of equipment failures as early as the design phase.

REFERENCES

1. A Study on the Implementation of a Monitoring System to Solar-Powered Houses. ResearchGate [Online resource]. 2021. URL: https://www.researchgate.net/publication/355991398_A_Study_on_the_Implementation_of_a_Monitoring_System_to_Solar-Powered_Houses (дата звернення: 17.03.2026).

2. Системи моніторингу та керування сонячними електро-станціями. Технічна електродинаміка. 2023 [Електронний ресурс]. URL: https://techned.org.ua/index.php/techned/article/view/409/331 (дата звернення: 17.03.2026).

3. Smart Monitoring and Control of Photovoltaic Systems Using IoT Technologies. Electronics. 2024. Vol. 13. No. 11. Art. 2065. URL: https://www.mdpi.com/2079-9292/13/11/2065 (дата звернення: 17.03.2026).

УДК 004.94:004.89:681.51

Goldysh O.S.[1], Vasylenko O.V.[2]
[1] студ. гр. БК-314сп НУ «Запорізька політехніка»
[2] доц. НУ «Запорізька політехніка»

THE DEVELOPMENT OF MODELING IN THE INDUSTRY 4.0 CONCEPT

Over the past five years, system modeling and automated design have undergone a radical transformation, shifting from the separate design of components to the creation of integrated cyber-physical systems. The main academic trend has been the introduction of the concept of Digital Twins, which ensure continuous data exchange between a virtual model and a real physical object at all stages of its life cycle.

In parallel with this, the MBSE [1] (Model-Based Systems Engineering) approach has gained traction, allowing for the integration of mechanical, electronic, and software components within a single modeling environment, thereby minimizing compatibility risks as early as the architecture development stage.

Modeling principles have been significantly updated thanks to the development of cloud platforms and real-time tools. Platforms such as NVIDIA Omniverse and the updated MATLAB/Simulink [2] and Autodesk Fusion 360 suites have

shifted the focus toward multiphysics modeling and photorealistic simulation of robotics.

A key milestone was the widespread adoption of open-source environments and the integration of specialized software into educational and research processes. These tools enable high-precision calculations of semiconductor structures and digital automata, capabilities previously available only in highly specialized laboratory packages.

Artificial intelligence has become a defining factor in development, evolving from a supporting tool to the core of the design process.

The introduction of generative design based on neural networks has made it possible to automatically create optimal part topologies that cannot be developed using traditional methods. In addition, AI has radically impacted control systems through the use of reinforcement learning, which ensures the adaptability of mechatronic modules to changing environments.

New approaches have also extended to the field of Edge AI, where data processing algorithms are integrated directly into microcontrollers, allowing systems to make autonomous decisions in real time without delays caused by data transmission to the cloud.

Let's examine the development of the modeling industry using Siemens as an example [3]. The effect of Siemens monopoly is reinforced by a phenomenon known as vendor lock-in. Thanks to proprietary data exchange standards and unique functional objects (Technology Objects), Siemens modules work perfectly within the ecosystem but require significant adaptation costs when attempting to integrate with third-party systems.

Siemens strategy to dominate the software module market, particularly through the Integrated Development Architecture (IDA) concept and the TIA Portal ecosystem, is viewed as the creation of a closed, self-contained infrastructure. The main mechanism of "monopolization" is based on the principle of vertical integration, where software (PLM, TIA Portal) is inextricably linked to hardware (S7-1500 controllers, drives).

Recently, Siemens has been transforming its dominant position as an Industry 4.0 leader in the field of digital manufacturing through the Xcelerator platform, which is formally positioned as open but effectively cements the company's leadership through control over critical interfaces (APIs). Academic case studies highlight that the company's strategy has shifted from protecting physical media to dominating the Industrial Edge and cloud computing sectors.

By controlling the software layer where modules are developed and integrated, Siemens dictates automation standards for entire industries, effectively turning its architecture into an industry standard-the highest form of market dominance.

Siemens is acquiring software developers specializing in simulation (such as Altair Engineering, Mentor Graphics, or CD-adapco) to build a complete Digital

Twin of a product that bridges the virtual and physical worlds, enabling engineers to design, test, and run a factory or component in a simulation before any materials are used; create a closed-loop cycle (Digital Thread) where the design and production stages are linked (if something changes in the model, the data is automatically transferred to Siemens machines at the factory and vice versa). Siemens recently acquired Altair, gaining access to the world's best artificial intelligence for simulations, which allows for the prediction of equipment failures as early as the design phase.

REFERENCES

1. Henderson K., Salado A. Value and benefits of model-based systems engineering (MBSE): Evidence from the literature. *Systems Engineering*. 2021. Vol. 24. P. 51–66. DOI: 10.1002/sys.21566.

2. Pasupuleti M. K. Modeling and Simulation with MATLAB, Simulink, and Python [Online resource]. Murali Krishna Pasupuleti. ResearchGate. 2026. URL: https://www.researchgate.net/publication/399882757.

3. Digital Twins as a Tool for Strategic Planning and Sustainability in Industry [Online resource]. ResearchGate. 2025. URL: https://www.researchgate.net/publication/385612345_Digital_Twins_Siemens_Xcelerator/

УДК 621.865.8

Avramenko M.D.[1], Vasylenko O.V.[2]

[1] студ. гр. Ю-115м НУ «Запорізька політехніка»

[2] доц. НУ «Запорізька політехніка»

DEVELOPMENT OF MECHATRONIC SYSTEMS IN INDUSTRY 4.0

The fundamental reorientation of modern industrial production is characterized by a transition from the design of isolated mechanical assemblies toward the realization of holistic, intelligent integrated ecosystems that operate beyond traditional engineering boundaries. Mechatronics is a synergy of devices from the fields of mechanics, electrical engineering (both analog power for motor drivers and digital and nanoelectronics used for automatic control systems) and information technology, which makes mechanical movement "smart". Mechatronics, as the primary vehicle for this evolution, functions as a synergistic amalgamation of mechanical engineering, electronics, computer science, and control theory, specifically targeted at a radical improvement of product functionality and performance.

This multidisciplinary framework dictates a deep level of integration where each constituent discipline informs and determines the architecture of the others, ensuring that electronic intelligence is not merely appended to a frame but is inherently woven into the system's logic. By merging these traditionally disparate fields, engineers gain the capacity to develop systems that are significantly more compact, energy-efficient, and capable of autonomous decision-making within highly dynamic and unpredictable environments.

This synthesis establishes the structural and logical foundation for «smart» manufacturing, acting as the essential catalyst for innovations in sustainability and high-level human-machine collaboration [1].

The mechanical layer acts as the system's primary physical interface, providing optimized rigidity and kinematic paths refined through computer-aided engineering (CAE) to minimize mass and inertia via high-strength materials.

This physical foundation is seamlessly integrated with a sophisticated sensory level that serves as a digital nervous system, utilizing Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) to translate environmental parameters into high-fidelity feedback loops.

By merging optimized structural integrity with real-time signal conditioning, mechatronic assemblies evolve into cyber-physical systems capable of autonomously adapting to dynamic operational disturbances. This technical synthesis marks a decisive transition from reactive control toward proactive intelligence, allowing the system to anticipate future states and maintain peak efficiency within autonomous industrial ecosystems [2, 3].

The software control level represents the «brain» of the system, where the intelligence of the mechatronic assembly is concentrated and true synergy is manifested through complex computational logic. This layer consists of embedded microcontrollers or digital signal processors (DSPs) that execute sophisticated algorithms ranging from classical PID regulation to advanced fuzzy logic and neural network processing. Software intervention allows for the compensation of mechanical imperfections, such as friction, hysteresis, or structural resonance, effectively substituting complex hardware components with sophisticated intelligent code.

In the Industry 4.0 context, this is augmented by AI and IoT technologies, introducing dimensions of self-optimization and predictive maintenance. Machines within these autonomous ecosystems are capable of collaborating with one another, exchanging data via high-speed communication interfaces to optimize throughput and adapt to fluctuating production requirements without direct human intervention [1, 3].

The most profound expression of mechatronic synergy is found in the process of concurrent design, where mechanical, electronic, and software constraints are addressed simultaneously to exceed the individual limits of constituent parts. Unlike traditional engineering, where a mechanical mechanism was finalized before

electronics were added, mechatronics requires these elements to be co-designed to exploit mutual benefits, such as using active damping algorithms to stabilize lighter, more flexible mechanical structures.

This interdisciplinary approach stimulates the development of «smart» components with built-in computational power, which reduces physical cabling and increases overall system reliability. The successful fusion of high-performance hardware and digital intelligence remains the central principle for the next generation of industrial robotics systems.

REFERENCES

1. Habib M. K. Mechatronics in industry 4.0 and 5.0: advancing synergy, innovations, sustainability, and challenges. Mechatronics Technology. 2025. Vol. 2. No. 1. Art. 0002. URL: https://doi.org/10.55092/mt20250002 (дата звернення: 16.03.2026).

2. Liagkou V., Stylios C., Pappa L., Petunin A. Challenges and Opportunities in Industry 4.0 for Mechatronics, Artificial Intelligence and Cybernetics. Electronics. 2021. Vol. 10. No. 16. P. 2001. URL: https://www.mdpi.com/2079-9292/10/16/2001 (дата звернення: 16.03.2026).

3. Vasylenko O. V., Snizhnoi G. V., Yamnenko Yu. S. Mechatronics as a basis for cyber-physical systems. *V Міжнародна науково-практична конференція «Мехатронні системи: інновації та інжиніринг»*: зб. тез доп. (м. Київ, 4 листопада 2021 р.). Київ, 2021. С. 7-8.

УДК 004.31:621.374

Кириленко К.В.[1], Василенко О.В.[2]

[1] студ. гр. групи БК-312 НУ «Запорізька політехніка»

[2] доц. НУ «Запорізька політехніка»

ЦИФРОВИЙ ТАЙМЕР З КОНФІГУРОВАНИМИ ЧАСОВИМИ ПАРАМЕТРАМИ НА ОСНОВІ ПРОГРАМОВАНОЇ ЛОГІКИ

Вступ. Цифрові таймери є невід'ємним компонентом сучасних систем автоматизації, промислового обладнання та побутової техніки. Традиційно такі пристрої реалізуються на базі мікроконтролерів або спеціалізованих мікросхем таймерів. Однак ці підходи мають суттєві обмеження: мікроконтролери потребують програмного забезпечення та мають обмежену швидкодію, а спеціалізовані мікросхеми не забезпечують гнучкості налаштувань. Програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС) [1,2] пропонують альтернативний підхід, що поєднує апаратну швидкодію з гнучкістю реконфігурації.

Актуальність розробки. Реалізація цифрового таймера на ПЛІС є актуальною з кількох причин. По-перше, ПЛІС забезпечує паралельне виконання операцій, що дозволяє досягти мінімальних затримок реакції — порядку наносекунд, тоді як мікроконтролери обмежені мікросекундним діапазоном через послідовне виконання команд. По-друге, програмована логіка дозволяє легко модифікувати функціональність без зміни апаратної частини — достатньо перепрограмувати ПЛІС, що суттєво скорочує час розробки та модернізації пристрою. По-третє, сучасні ПЛІС мають низьке енергоспоживання, високу завадостійкість і надійність, що є критично важливим для промислових та вбудованих систем. Додатково слід зазначити, що використання мов опису апаратури (VHDL, Verilog) дозволяє формалізувати процес розробки та забезпечити можливість моделювання і верифікації ще на етапі проєктування.

Порівняно з мікроконтролерними рішеннями, ПЛІС-реалізація таймера забезпечує детермінований час відгуку, що не залежить від програмних переривань чи завантаженості процесора [3]. Це особливо важливо для систем реального часу, де критичною є точність спрацювання та передбачуваність поведінки системи. Крім того, ПЛІС дозволяє реалізувати кілька незалежних каналів таймера в одному кристалі без взаємного впливу, що значно підвищує ефективність використання апаратних ресурсів. Такий підхід також забезпечує можливість побудови багатофункціональних систем керування в межах одного пристрою.

Структурна схема пристрою. Запропонована структурна схема цифрового таймера включає такі основні модулі: модуль керування (скінченний автомат, FSM) [4], дільник частоти, лічильник, компаратор, регістр конфігурації, інтерфейс введення, модуль індикації та вихідний модуль.

Модуль керування реалізований як скінченний автомат із станами: очікування, налаштування, відлік, пауза та завершення. Він координує роботу всіх інших блоків та обробляє сигнали від кнопок керування (старт, стоп, скидання). Дільник частоти формує базовий часовий інтервал із вхідної тактової частоти кварцового генератора. Коефіцієнт ділення може бути налаштований для отримання різних одиниць часу — від мілісекунд до годин.

Лічильник здійснює підрахунок часових інтервалів. Його поточне значення порівнюється компаратором із заданим у регістрі конфігурації. При збігу значень компаратор генерує сигнал завершення відліку, який передається до модуля керування. Регістр конфігурації зберігає задані користувачем часові параметри, що вводяться через інтерфейс введення (клавіатура або енкодер). Модуль індикації відображає поточний стан таймера на семисегментному дисплеї. Вихідний модуль формує керуючі сигнали для зовнішніх пристроїв — реле, звукового сигналу тощо.

Переваги ПЛІС-реалізації. Реалізація на ПЛІС має низку суттєвих переваг. Висока точність забезпечується синхронною роботою всіх модулів від єдиного тактового сигналу. Масштабованість дозволяє легко змінювати розрядність лічильника та діапазон часових інтервалів. Модульна архітектура спрощує налагодження та модифікацію окремих блоків. Можливість апаратного захисту від брязкоту контактів та завадостійке кодування станів автомата підвищують надійність пристрою.

Висновки. Запропонована структура цифрового таймера на основі ПЛІС забезпечує високу точність, гнучкість конфігурування та надійність роботи. Використання програмованої логіки дозволяє реалізувати детермінований час відгуку та паралельну обробку сигналів, що неможливо досягти програмними методами. Подальший розвиток роботи передбачає реалізацію проєкту мовою VHDL або Verilog та верифікацію на налагоджувальній платі з ПЛІС серії Cyclone або Spartan.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Maxfield C. The Design Warrior's Guide to FPGAs. Newnes, 2004. 542 p.

2. Chu P. P. FPGA Prototyping by VHDL Examples. Wiley, 2008. 488 p.

3. Kilts S. Advanced FPGA Design: Architecture, Implementation, and Optimization. Wiley-IEEE Press, 2007. 352 p.

4. Brown S., Vranesic Z. Fundamentals of Digital Logic with VHDL Design. McGraw-Hill, 2009. 939 p.

УДК 004.492

Семенков О.О.[1], Попов А.А.[1], Козіна Г.Л.[2]

[1] студ. гр. БК-822 НУ «Запорізька політехніка»

[2] доц. НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИВІРУСІВ, ЩО ЧИННІ В УКРАЇНІ

Стрімка цифровізація призвела до різкого зростання кількості кіберзагроз, а дані фактично перетворилися на один із найцінніших ресурсів.

Сучасні загрози можуть тривалий час залишатися непоміченими, використовуючи складні механізми маскування та легітимні функції операційної системи. Захист інформаційних систем сьогодні базується на комплексному підході, який передбачає також нові антивірусні рішення.

У межах національної системи кіберзахисту практична реалізація вимог безпеки покладається на спеціалізовані державні органи.

Ключову роль у цьому процесі відіграє Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України (ДСТСЗІ), яка забезпечує не лише формування вимог до захисту, а й контроль їх виконання на практиці.

Ключовим інструментом такого контролю є процедура сертифікації засобів захисту інформації. Її сутність полягає у проведенні спеціалізованої експертизи програмного або апаратного продукту з метою оцінки його відповідності вимогам технічного захисту інформації.

У процесі сертифікації перевіряються функціональні можливості засобу, ефективність реалізованих механізмів захисту, а також його здатність протидіяти актуальним загрозам.

Процедура сертифікації антивірусного програмного забезпечення включає таки дії.

Ініціювання та подання документації: подання заявки до уповноваженого органу разом із детальним описом архітектури, механізмів захисту та результатів внутрішніх випробувань.

Попередній аналіз: перевірка повноти та коректності технічних матеріалів на відповідність формальним критеріям системи ТЗІ перед допуском до основної експертизи.

Технічна експертиза: практичне тестування ПЗ у реальних сценаріях для перевірки ефективності виявлення загроз, роботи механізмів самозахисту та централізованого управління

Аналіз стабільності та сумісності: оцінка впливу антивірусу на продуктивність системи під навантаженням та перевірка стійкості до спроб обходу або блокування захисту

Формування експертного висновку: видача підсумкового документа ДСТСЗІ, що дозволяє експлуатацію засобу, або надання переліку зауважень для подальшого доопрацювання продукту.

В роботі розглянуто антивірусні рішення із сертифікатом ДСТСЗІ.

ESET (Endpoint Antivirus/Endpoint Security): Багаторівневий захист (сигнатурний аналіз, евристика, HIPS), найпоширеніше рішення в КСЗІ України.

Bitdefender (GravityZone): Висока ефективність детекції завдяки машинному навчанню, захист віртуальних та хмарних середовищ.

Trellix (McAfee Endpoint Security): Контроль поведінки процесів, захист від експлойтів, централізоване адміністрування.

Trend Micro (Apex One/Worry-Free): поведінковий аналіз, репутаційні сервіси та хмарна аналітика, високий рівень сумісності з іншими системами кіберзахисту.

Cisco Secure Endpoint: Інтеграція функцій класичного антивірусу та EDR для розширеного моніторингу подій.

CrowdStrike Falcon: Рішення нового покоління, що базується на аналізі поведінки та штучному інтелекті.

Zillya! (Антивірус для бізнесу / Enterprise): Повна відповідність вимогам ТЗІ, відсутність ризиків іноземного ПЗ, оптимізація під державний сектор.

Avast / AVG Business: Оптимальний баланс сигнатурного та поведінкового аналізу для малого та середнього бізнесу.

Проведено порівняльний аналіз антивірусних рішень за критеріями: ефективність виявлення загроз, продуктивність, функціональність, рівень автоматизації, адаптивність до сучасних загроз, профіль застосування.

Наведена порівняльна таблиця антивірусних рішень.

Зроблено оглядово-порівняльні висновки:

ESET демонструє збалансоване поєднання продуктивності, стабільності та функціональності, що робить його універсальним рішенням

Bitdefender і Trend Micro поєднують класичні та сучасні підходи, забезпечуючи ефективний захист у корпоративному середовищі.

Рішення CrowdStrike, Cisco та Trellix забезпечують найвищий рівень захисту завдяки використанню EDR, поведінкової аналітики та автоматизованого реагування.

Zillya! орієнтований на державний сектор, забезпечуючи достатній рівень захисту при високій контрольованості та відповідності вимогам

Рішення від Avast ефективні для приватного використання та малого бізнесу, забезпечуючи базовий рівень захисту з мінімальним навантаженням.

Для зниження ризику використання вразливостей і підвищення загального рівня безпеки рекомендуються регулярні оновлення інформаційної системи, видалення застарілого ПЗ, використання лише одного основного антивірусу.

СЕКЦІЯ «ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА»

УДК 621.396.677
Бугрова Т.І.[1], Чорнобородов М.П.[2], Биков І.В.[3]
[1,2] доц. НУ «Запорізька політехніка»
[3] студ. гр. БК-232 НУ «Запорізька політехніка»

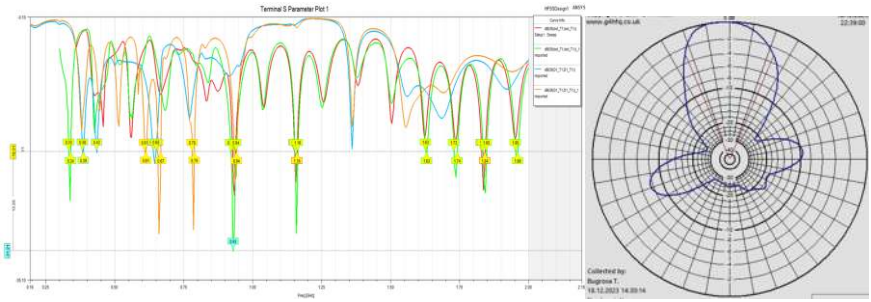
ДРОТОВІ АНТЕНИ ЯК ПРОСТОРОВО-ЧАСТОТНІ ФІЛЬТРИ

Дротова антена еквівалентна одновимірному просторово-частотному фільтру. Її діаграма спрямованості є Фур'є-образом розподілу струму вздовж провідника, тому антена вибірково підсилює або пригнічує складові кутового спектра електромагнітного поля. Дротові антени у сучасних радіосистемах дедалі частіше розглядаються не лише як випромінювач/приймач, а і як первинний селективний елемент тракту. Дротові антени завдяки розподіленим струмам, геометричній гнучкості та резонансній природі здатні реалізовувати вибірковість одночасно в частотній та просторовій областях, виконуючи функції просторово-частотного фільтра ще до етапів підсилення і обробки сигналу. Все це призвело до виникнення спеціального терміну для таких антен – filtenna [1].

В дослідженні обґрунтовано підхід до аналізу та синтезу дротових антен як просторово-частотних фільтрів і показано на прикладі логоперіодичної антени, як геометрія, довжина провідників та спосіб живлення визначають їх частотно-просторові селективні властивості. Розподіл струмів уздовж дроту формує частотнозалежні умови резонансу, а фазові співвідношення між елементами - кутову вибірковість. Це еквівалентно до дії фільтра, де частотна характеристика пов'язана з довжиною провідника, а просторова - з інтерференцією полів. На рис.1, а показано мультисмугову частотну залежність коефіцієнта відбиття логоперіодичної антени з різною геометрією в якості прикладу частотного фільтра, а на рис.1, б – експериментальну діаграму спрямованості цієї антени на частоті 3 ГГц в якості прикладу просторового фільтра. Фізична природа селективності дротових антен пояснюється просто. Для класичних випромінювачів, таких як диполь, монополь та рамка, резонансні довжини визначають смугу пропускання. Відхилення від резонансу призводить до зменшення ефективності та зростання реактивної складової імпедансу, що еквівалентно загасанню позасмугових складових у класичних фільтрах (рис.1, а). У спрямованих структурах, зокрема таких, як антени Уда-Ягі та логоперіодичні, взаємодія активних і пасивних вібраторів формує кутову «смугу пропускання» - головну пелюстку діаграми спрямованості та забезпечує ефективне пригнічення бічних/задніх напрямків (рис.1, б). В контексті формулювання мети дослідження важливу роль відіг-

рає аналогія антен з просторово-частотними фільтрами. Довжина провідника напряму завдає резонансну частоту, а відстані між елементами визначає фазові зсуви. Навантаження та узгодження забезпечують певну величину добротності і ширину смуги пропускання. Таким чином, дротову антену можна інтерпретувати як розподілений фільтр із просторовим входом.

Всі ці параметри піддаються регулюванню за допомогою геометрії антени. Досліджувалась зміна форми у вигляді додавання вигинів, петель та окремих фрактальних сегментів. Варіація кількістю елементів, зміна їх взаємного розташування у просторі дає змогу керувати водночас як частотною, так і кутовою характеристиками без застосування традиційних фільтрувальних каскадів у приймачі.



а – коефіцієнт відбиття б – діаграма спрямованості

Рисунок 1 – Характеристики логоперіодичної антени як просторово-частотного фільтру

З практичної точки зору реалізація просторово-частотної фільтрації на рівні антени зменшує вимоги до подальшої селекції в приймальному тракті, підвищує завадостійкість та енергетичну ефективність системи, оскільки здійснює придушення завад ще до моменту попадання їх на вхід приймача.

Таким чином, пропонується розглядати синтез дротових антен крізь призму теорії фільтрів, де діаграма спрямованості трактується як просторова амплітудно-частотна характеристика, а імпедансні властивості - як частотна передавальна функція. Оскільки дротові антени мають природні властивості просторово-частотної селективності, це дозволяє трактувати їх як інтегровані фільтри електромагнітного поля. Такий підхід відкриває можливості для цілеспрямованого синтезу антен із заданими фільтрувальними характеристиками для радіозв’язку, радіолокації та систем радіоелектронної боротьби.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Caicedo Mejillones S., Oldoni M., D'Amico M. Synthesis of Filters and Filtering Antennas for Micro and Millimeter Waves Applications // Special Topics in Information Technology / за ред. F. Amigoni. Cham: Springer, 2024. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-51500-2_11 (дата звернення: 30.03.2026).

УДК 621.3.052.63.4

Бугрова Т.І.[1], Сметанін І.М.[2], Мулін О.С.[3]

[1] доц. НУ «Запорізька політехніка»

[2] ст.викл. НУ «Запорізька політехніка»

[3] студ. гр. БК-233_2 НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КІЛЬКОСТІ ПЕЛЮСТОК В АНТЕНІ CLOVERLEAF НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕНИ

Глобальні супутникові системи навігації (GPS, Galileo тощо) стали невід'ємною частиною повсякденного життя людини. Однією з найбільших проблем, що обмежують застосування цих систем є залежність від покриття. Одним з можливих рішень є правильний вибір антени для пристрою. Цікавим рішенням такої задачі є використання для зв'язку антени «Конюшина» (Cloverleaf). Завдяки своїм властивостям і відносній простоті виготовлення ці антени користуються великим попитом. В той же час, роботи по вдосконаленню конструкції і характеристик антени не припиняються [1].

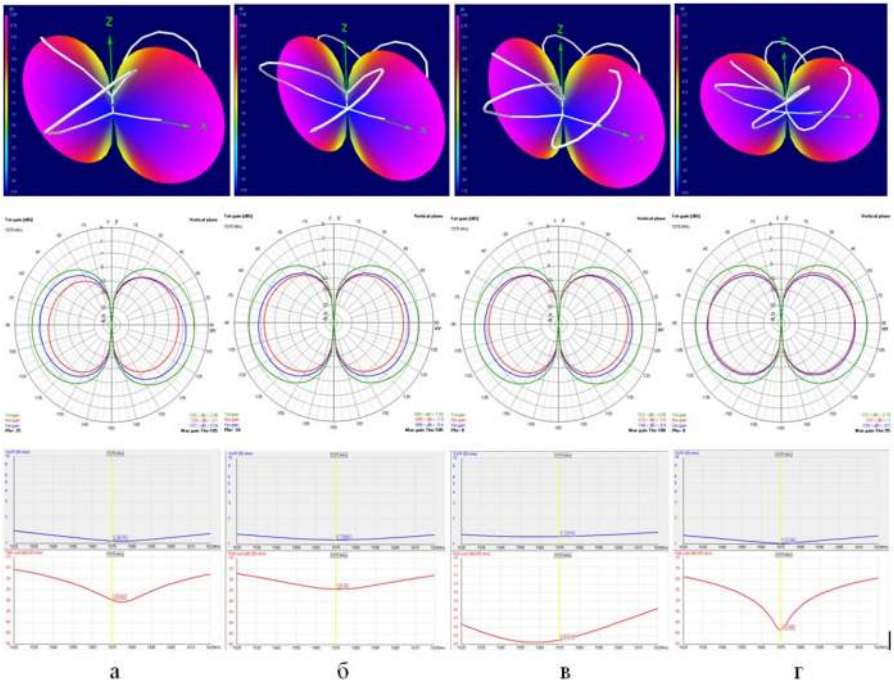
В даній роботі розглядається вплив кількості пелюсток в антені «Cloverleaf» на характеристики передачі сигналу. При цьому порівнювалися такі показники: коефіцієнт стоячої хвилі (SWR), діаграми спрямованості, коефіцієнти підсилення. Дослідження проводилося шляхом CAD моделювання.

Існуючі моделі антен «Cloverleaf» або занадто спрощені, або не включають реальні характеристики конструкції. Важливо, щоб модель була якомога ближча до реальності. Тому дослідження проводилося за допомогою пакету програмного забезпечення «4nec2».

Для дослідження було обрано чотири варіанти з різною кількістю пелюсток: трьохпелюсткову, чотирьохпелюсткову, п'ятипелюсткову і шестипелюсткову антени. Моделювання проводилося в однакових умовах для всіх типів антен. При цьому вважалося, що антени знаходяться в нерухомому положенні і в середовищі з постійними параметрами. В якості матеріалу антени було обрано мідний дріт діаметром 1,5 мм. Моделювання роботи антен здійснювалося на частоті 1575 МГц.

Таблиця 1 – Результати дослідження антен «Cloverleaf»

Основні показники	3-х пелюстк.	4-х пелюстк.	5-и пелюстк.	6-и пелюстк.
Коєф. стояч. хвилі(SWR)	1,06775	1,12903	1,23774	1,01346
Коєф. підсил. вертикальної поляризації, дБі	-127,0÷-0,14	-999,0÷-0,4	-144,0÷-0,4	-124,0÷-0,7
Коєф. підсил. горизонтальної поляризації, дБі	-129,0÷-2,1	-999,0÷-1,9	-123,0÷-1,6	-123,0÷-1



а – 3 пелюсткова; б – 4 пелюсткова; в – 5 пелюсткова; г – 6 пелюсткова.
Рисунок 1 – Результати моделювання в програмному пакеті 4nec2

З результатів моделювання видно, що коефіцієнт підсилення для вертикальної поляризації більший, ніж для горизонтальної поляризації. Коефіцієнт стоячої хвилі змінюється в межах 1,01 – 1,2 і зменшується зі збільшенням кількості пелюсток. Загалом, ця антена показує високий ступінь узгодження з коаксіальною лінією живлення 50 Ом. Антени цього типу мають стабільну за формою, широку діаграму спрямованості, яка слабо змінюється від кількості пелюсток.

Це доводить можливість використання антен типу «Cloverleaf» з різною кількістю пелюсток в апаратурі зв'язку та РЕБ. В подальшому планується провести дослідження частотної залежності характеристик спрямованості цих антен.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Yuan W., Zhang S., Bigagli N., Warner C., Stevenson I., Will S. A planar cloverleaf antenna for the creation of circularly polarized microwave fields // Reviev of Scientific Instruments. 2023. Vol. 94. No. 12. Art. 123201. URL: https://doi.org/10.1063/5.016757 (дата звернення: 25.03.2026).

УДК 621.396.677

Чорнобородов М. П.[1], Бугрова Т. І.[2], Логачова Л. М.[3], Отрощенко І. С.[4], Селезньова О.В.[5]
[1,2] доц. НУ «Запорізька політехніка»
[3] старш. виклад. НУ «Запорізька політехніка»
[4] студ. гр. БК-915м НУ «Запорізька політехніка»
[5] студ. гр. М-613 НУ «Запорізька політехніка»

ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНОСТІ ОБ'ЄМНИХ СПІРАЛЬНИХ АНТЕН

Для захисту від радіокерованих безпілотних літальних апаратів використовуються бортові й окопні постановники активних шумових завад. Чим ширша діаграма спрямованості (ДС) антени постановника, тим більшу частину кутомісцевої площини буде перекрито спрямованим випромінюванням постановника. Одним із способів розширення діаграми спрямованості є використання спіральних антен.

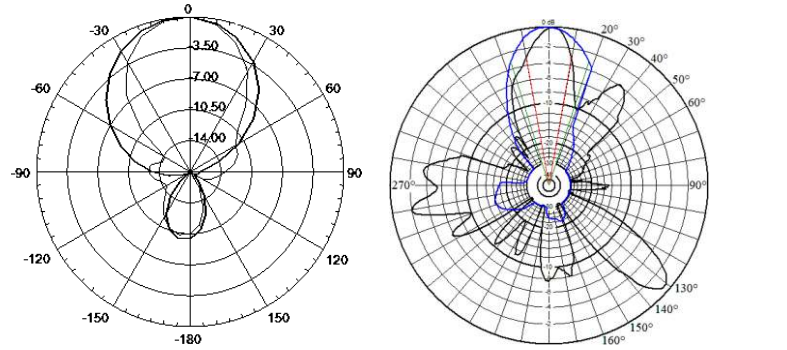
Було досліджено характеристики спрямованості одновиткової та тривиткової об'ємних спіральних антен колової поляризації [1] та їхніх моделей у середовищі проектування пристроїв НВЧ HFSS в діапазоні частот 3..6 ГГц. У HFSS було здійснено оптимізацію геометрії тривиткової спіральної антени за критерієм максимуму ширини діаграми спрямованості та мінімуму коефіцієнта стоячої хвилі.

Для порівняння результатів моделювання й експерименту було виготовлено дослідний зразок одновиткової та тривиткової антен за розмірами моделей HFSS і експериментально виміряно ширини їх діаграм спрямованості та характеристик узгодження з лінією живлення у вигляді 50-омного коаксіального кабелю.

Результати моделювань та вимірювань у смузі частот 3..6 ГГц наведено на рис. 1..2: діаграма спрямованості (див. рис. 1) й коефіцієнт стоячої хвилі (див. рис. 2). Можна побачити, що підсумки комп'ютерного моделювання узгоджуються з теорією: чим більша кількість витків (довжина антени) - тим ліпші її спрямовані властивості (див. рис. 1, а)) й тим ширший діапазон узгодженості (див. рис. 2, а)), що пояснюється більшою стабільністю значення опору антени навколо 50 Ом.

Порівнюючи діаграми спрямованості одновиткової спіральної антени для випадку комп'ютерного моделювання (див. рис. 1, а)) з випадком фізичного втілення (див. рис. 1, б)), можна помітити істотну розбіжність у ширинах головних пелюсток: 70° проти 35°. Тобто, практично, ширина діаграми виявляється вдвічі вужчою, ніж теоретично відомо [1, с. 146].

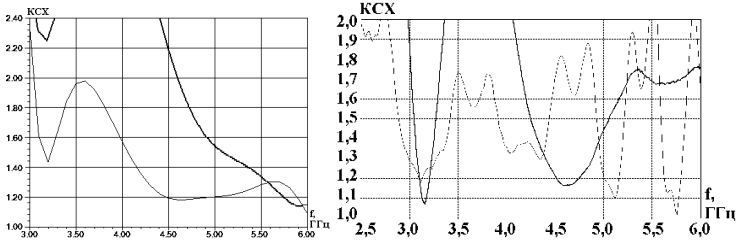
У випадку тривиткової спіральної антени спостерігалась багатопелюстковість діаграми спрямованості в діапазоні частот від 4,9 ГГц до 5,6 ГГц, де антену треба вважати непрацездатною. В діапазоні 5,6..6,0 ГГц її ширина діаграми спрямованості становила лише 20°, а в діапазоні 2,8..3,3 ГГц - 35° (але тут КСХ>2 - див. рис. 2, б)).



N=1, ——— N=3 ——— N=1, ——— N=3

а – розрахована ДС; б – виміряна ДС

Рисунок 1 – Діаграми спрямованості спіральних антен на частоті f=5,25 МГц





а – розрахована ДС; б – виміряна ДС

Рисунок 2 – Коефіцієнт стоячої хвилі

Виявлені розбіжності викликають необхідність проведення докладних досліджень щодо сталості ширини діаграми спрямованості спіральних антен з малою (N<3) кількістю витків та її розширення, оскільки це питання є дуже важливим для засобів радіоелектронної протидії і мало досліджено у літературі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ільїнов М. Д., Гурський Т. Г., Борисов І. В., Гриценок К. М. Лінії радіозв'язку та антенні пристрої: навчальний посібник. Київ: Вид. дім «СКІФ», 2023. 250 с.

УДК 621.791.5

Костенко В.О.[1] , Сметанін І.М.[2], Купін Д.А. [3]
[1] доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] ст. викл. НУ «Запорізька політехніка»
[3] студ. гр. БК-235 НУ «Запорізька політехніка»

МОДЕЛЮВАННЯ ПОГОДНИХ УМОВ ДЛЯ ЗВ'ЯЗКУ В МЕРЕЖІ 5G

Формула передачі Харальда Фрііса була опублікована в 1945 році, але вона не втратила своєї актуальності до цього дня. Ця формула визначає потужність, одержувану однією антеною за ідеальних умов від іншої антени, що знаходиться на певній відстані і передає відому потужність:

$$P_r/P_t=G_{t*}G_{r*}(\lambda/(4*\pi*R)^2), \quad (1)$$

де Gt – коефіцієнт посилення передавальної антени; Gr – коефіцієнт посилення приймальної антени; Pt – потужність передавальної антени (Вт) (без урахування втрат); Pr – потужність, що приймається антеною (Вт) (без урахування втрат); R – відстань між антенами в метрах; λ – довжина хвилі в метрах, що відповідає частоті передачі.

Вона наведена для ідеальних умов, коли відсутні перешкоди, відображення, наявність кількох можливих траєкторій передачі тощо. Передбачається, що антени налаштовані на однакову поляризацію.

У новій технології телекомунікацій (5G), коли використовуються низькоорбітальні супутники, які грають тепер роль базових станцій і пролітають над абонентом на висоті від 300 до 500 км, сигнал двічі долає цю відс-

тань через атмосферу конкретної ділянці Землі. Природно, в цих умовах формула Фріїса має коригуватися також і внаслідок дії атмосферного згасання та дифракції від випадкових перешкод. Таким чином, просту формулу рівняння слід розглядати як «найкращий варіант». Зв'язок перерветься, якщо потужність сигналу впаде нижче рівня, необхідного для коректної демодуляції (званого порогом чутливості).

Відповідно до рекомендації ITU-R P.837 (яка використовується для розрахунку згасання сигналів у радіолініях через опади), територія світу поділена на кліматичні зони інтенсивності дощів. В наступній таблиці наведено розподілу Європи на зони по інтенсивності опадів згідно з картами ITU-R:

Таблиця 1 – Зони інтенсивності опадів в Європі

Зона	Інтенсивність R 0,01 (мм/год)	Характеристика
Zone E	22	Помірна інтенсивність
Zone H	32	Субтропічна/Середземноморська
Zone K	42	Висока інтенсивність (типова для України)

Більша частина території України (Центр, Північ, Захід та Схід) належить до зони K. Південні регіони (зокрема Крим та прибережні зони) іноді відносять до зони H або перехідної зони між K та E (залежно від конкретної версії та деталізації карти).

Для комп'ютерного моделювання впливу атмосферних явищ на проходження сигналів в каналі зв'язку згідно ITU-R P.618 було обрано програмне середовище MATLAB R2025a з пакетом розширення Satellite Communications Toolbox та діапазон 28 ГГц, як найбільш затребуваний нині. Величина рівня ослаблення радіосигналу в залежності від інтенсивності опадів представлена на наступному рисунку:

При куті піднесення 20° інтенсивність опадів в 25 мм/год відповідає типовому значенню для сильної грози в Україні. Графік показує, що додаткове затухання через дощ призвело до зниження рівня сигналу на 12 дБ. а на краях зони обслуговування рівень сигналу падає нижче порогу чутливості приймача (-110 дБм).

Звичайно, фактична лінійність одержаного графіку дозволяє, на погляд авторів докладу, організувати коло зворотного зв'язку між вимірюваннями інтенсивності опадів з потужністю випромінювання з урахуванням кута піднесення супутника над горизонтом.

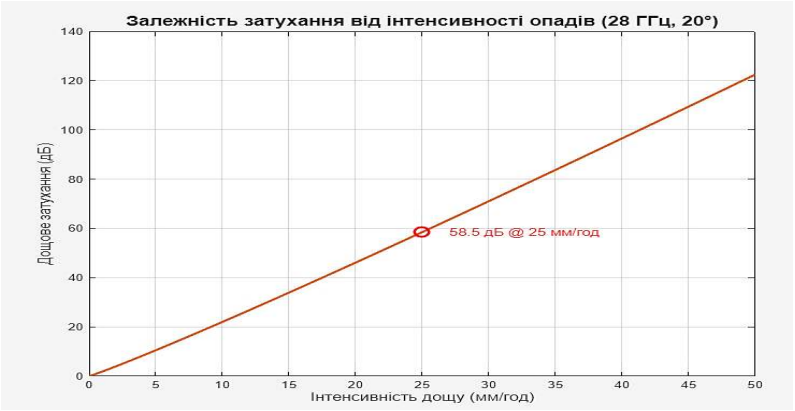


Рисунок 1 – Залежність затухання від інтенсивності опадів

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. MathWorks. 5G Toolbox User's Guide. Natick, MA: The MathWorks, Inc., 2024 [Електронний ресурс]. URL: https://www.mathworks.com /help/5g/ (дата звернення: 02.03.2026).

2. Starlink. Specifications [Електронний ресурс]. URL: https://www.starlink.com/ua/specifications (дата звернення: 02.03.2026).

3. Кременецька Я. А. та ін. Багаторівнева модель наземних і неземних телекомунікацій із застосуванням технологій оптичного безпроводового зв'язку. *Зв'язок*. 2021. №3 (151). С. 3-11. URL: https://doi.org/10.31673/2412-9070.2021.030311 (дата звернення: 02.03.2026).

УДК 621.791.5

Костенко В.О.[1] , Фокін Д.О.[2]
[1] доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. БК-914 НУ «Запорізька політехніка»

ПРО ЕВОЛЮЦІЮ ХЕНДОВЕРУ В 5G МЕРЕЖІ

При русі людини або автомобіля місцевістю відбувається перемикання мобільного телефону з однієї базової станції (БС) на іншу, зв'язок з якою став більш якісним. Таке перемикання обслуговування абонента з однієї комірки до іншої називається хендовером. Здійснюється він на підставі звітів про вимірювання, які надсилає користувацький пристрій. В мережі 4G, яка поки залишається головною в Україні, відстань меж БС складає від двох до два-

дцяти кілометрів. а вимоги до збільшення потоків інформації призвели до використання в мережах 5G на порядок більш високих частот, де колосальне загасання сигналу у просторі. Втрати стають настільки великими, що покриття однієї станції обмежується лише 300-500 метрами. Звичайно, покривати всю Україну такою густою мережею не має сенсу. Тому апаратурне та програмне забезпечення хендоверу в технології 5G перенесено на низькоорбітні супутники (LEO). Якщо у наземних мережах користувацький пристрій рухається, а БС залишаються нерухомими, то у супутникових мережах ситуація протилежна: БС (на супутниках) рухаються з величезною швидкістю (~7,56 км/с або 27000 км/год для висоти 600 км), тоді як користувацький пристрій відносно статичний. Це кардинально змінює логіку роботи алгоритмів всієї апаратури..

Супутник пролітає над користувачем за 8-10 хвилин. Проте промінь супутника охоплює конкретну зону лише протягом 10-20 секунд (залежно від ширини променя). Це означає, що користувацький пристрій змушений виконувати передавання кожні 15-30 секунд. Передавання між супутниками ініціюється, коли сигнал від супутника, що наближається, стає стабільно сильнішим за сигнал супутника, що віддаляється, на величину зміщення (Off) протягом певного часового інтервалу TimeToTrigger (TTT). Щоб уникнути зайвих переключень через короткочасні коливання сигналу, система чекає, поки новий супутник буде стабільно кращим протягом TTT (наприклад, 1-2 секунди). Тільки після цього відбувається переключення.

Важливим фактором для визначення моменту переключення є врахування ефекту Доплера. При швидкості 7,6 км/с і частоті 28 ГГц зсув частоти дорівнює приблизно 710 кГц. Але у технології 5G відстань між каналами всього 15-120 кГц. Як це виглядає в часі (S-подібна крива):

- супутник наближається → частота вища (+710 кГц);
- супутник над головою → частота нормальна (0 кГц);
- супутник віддаляється → частота нижча (−710 кГц).

На рис.1 показана залежність частотного зсуву при приближенні супутника до користувача та віддаленні від нього.

Для дослідження процесу хендовера шляхом моделювання на комп’ютері у середовищі MATLAB була використана імітаційна модель прольоту двох супутників, що рухаються в одній орбітальній площині з часовим інтервалом. Алгоритм базувався на подієвій моделі "Event A3" (стандарт 3GPP). На рис.2 відображено процес реалізації безшовної процедури перемикання потоків даних на новий супутник, мінімізуючи час переривання



Рисунок 1 — S-крива доплерівського зсуву частоти для низькоорбітального супутника

На рисунку:

- синя лінія – це сигнал від супутника, що віддаляється;
- зелена лінія – це сигнал від супутника, що наближається;
- пунктирна синя лінія - це бар'єр гістерезису (рівень 1-го супутника + 3 дБ). Ви побачите, що перемикання відбувається не в точці перетину синьої та зеленої ліній, а трохи пізніше – коли зелена лінія перетинає саме пунктирну. Це імітує захист від випадкових перемикань ("пінг-понгу");
- фонова заливка:
- блакитна зона – час роботи першого супутника;
- зелена зона – час роботи другого супутника.

Запропонована модель в середовищі MATLAB дозволяє оцінити вплив ряду факторів на процедуру хендоверу в мережах зв’язку 5-го покоління.

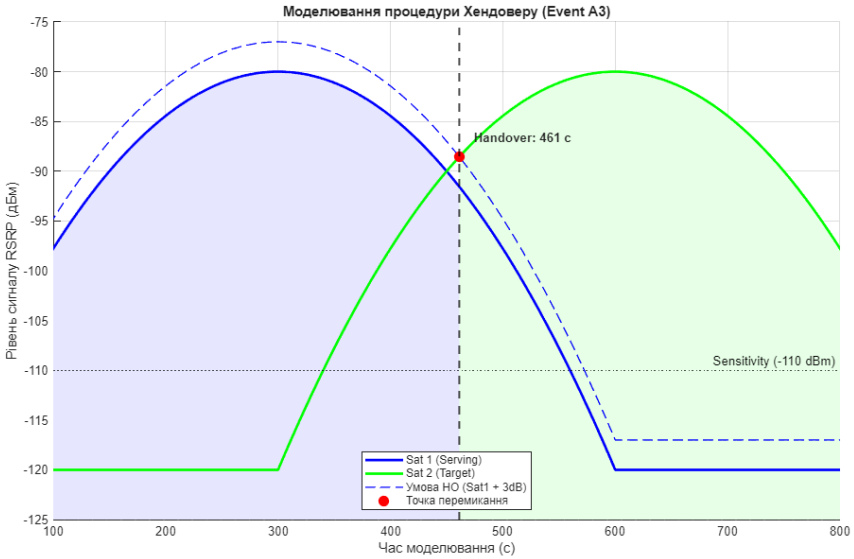


Рисунок 2 – Моделювання процесу Хендоверу

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Азаров О. Д., Захарченко С. М., Кадук О. В. та ін. Комп'ютерні мережі: підручник. Вінниця: ВНТУ, 2020. 378 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/Azarov_2020_378.pdf (дата звернення: 12.03.2026).

2. Кременецька Я. А. та ін. Багаторівнева модель наземних і неземних теле-комунікацій із застосуванням технологій оптичного безпроводового зв'язку // Київ: вид. Зв'язок, 2021. №3 (151). С. 3-11. URL: https://doi.org/10.31673/2412-9070.2021.030311 (дата звернення: 12.03.2026).

3. Starlink. Specifications [Електронний ресурс]. URL: https://www.starlink.com/ua/specifications (дата звернення 12.03.2026).

4. Free Space Optical FSO Satellite Networks Performance Analysis Transmission [Електронний ресурс]. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/10354376 (дата звернення: 12.03.2026).

УДК 621.396.67
Логачова Л.М.[1] , Морщавка С.В.[2], Трухачов А.В.[3]
[1] ст. викл. НУ «Запорізька політехніка»
[2] доц. НУ «Запорізька політехніка»
[3] студ. гр. БК-233 НУ «Запорізька політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ ВЕРТОЛІТНИХ АНТЕН БЛИЖНЬОГО ЗВ'ЯЗКУ

Особливості конструкції вертольотів, а також пов’язані з ними умови розміщення вертолітних антен вимагають об’єднати їх в особу групу та розглядати окремо. Вертоліт конструктивно відрізняється від літака чи ракети. Масивна кабіна, низька посадка, гвинти, що обертаються вертикально та горизонтально, шасі що не вбираються, на деяких моделях вертольотів – ці основні конструктивні особливості впливають на конструкцію та параметри антен.

Як приклад, розглянемо можливі місця розташування антен ближнього зв’язку на вертольоті Bell 429 [1].



1 – верхня поверхня; 2 – нижня поверхня; 3 – носовий обтічник; 4 – носова частина; 5 – хвостова балка; 6 – вертикальне оперення; 7 – обтічники (радіо прозорі кожухи).

Рисунок 1 – Зони розміщення антен на вертольоті

Як видно з рис. 1, конструкція даного типу вертольоту дозволяє розмістити антени в семи зонах, позначених на рисунку арабськими цифрами. У зоні 1 – (верхня частина фюзеляжу за кабіною пілотів) місце для навігаційних (GPS/ГЛОНАСС) і супутникових антен зв'язку (SATCOM). Розміщення виступаючих антен не рекомендується через можливе потрапляння уламків льоду в двигун під час польоту в умовах обмерзання. У зоні 2 – (нижня частина фюзеляжу, підкабінний простір) розміщуються УКВ-антени, радіовисотоміри, відповідачі, які потребують зв'язку з наземними службами. У зоні 3 – (носовий обтічник), місце для метеолокаторів та деяких видів антен зв'язку. У зоні 4 – (носова частина фюзеляжу під кабіною пілотів або над нею), місце для антен передачі даних та антен ближньої навігації. У зоні 5 – (хвостова балка (верх/низ)), додаткові антени ближнього зв'язку, розташовані далеко від основних джерел перешкод. У зоні 6 – (на кілі або вертикальному стабілі-

заторі) розташовуються легкі антени ближнього зв'язку та антени резервних каналів. У зоні 7 – (обтічники (радоми), спеціальні радіопрозорі кожухи на корпусі вертольоту) розташовуються вбудовані антени передачі даних та багатодіапазонні антени.

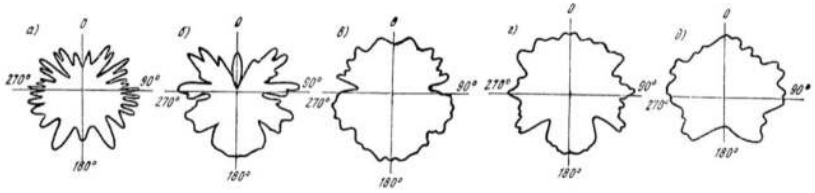
Існують загальні принципи розміщення антен ближнього зв'язку на вертольотах:

-екранування: антени не повинні перекриватися лопатями несівного гвинта та двигунами,

- рознесення частот: антени різних систем (наприклад, навігації та зв'язку) розміщують на безпечній відстані одна від одної, щоб уникнути перешкод,

- вид поляризації: вертикальна/горизонтальна: орієнтація залежить від типу антени.

Розглянемо характерні особливості діаграми спрямованості антен ближнього зв'язку, розташованих у зазначених зонах. Як видно з рис. 2, наявність стойок шасі, крил, лопатей та інших виступаючих елементів конструкції призводить до пелюстковості та сильної порізаності діаграми спрямованості, причому зі збільшенням робочої частоти порізаність діаграми спрямованості буде зростати.



а – верхня поверхня; б – нижня поверхня; в – бокові поверхні;
г – носова частина; д – хвостова балка.

Рисунок 2 – Діаграми спрямованості для однотипних антен, розташованих у зонах 1-5 (див. рис. 1)

На рис. 2,а показано ДС зв'язкової антени, розташованої в першій зоні. На форму ДС антени, розміщеної у верхній частині кільової балки, значно впливає положення лопаті несівного гвинта. Спотворення ДС залежить від висоти розташування лопатей над антеною, їхніх розмірів і кількості, а також частоти обертання гвинта. Це пов'язано з тим, що під час обертання лопатей періодично змінюється відстань між антеною та лопаттю. Отже, з такою ж частотою змінюватиметься їхня взаємна ємність. У результаті періодично змінюється форма ДС та вхідний опір антени. Випромінюваний або прийнятий сигнал стає амплітудно-модульованим. Це явище отримало назву роторної модуляції, третя гармоніка якої близька до 30 Гц. Розташування антени в центрі верхньої частини кільової балки забезпечує нормальну роботу зв'яз-

кових радіостанцій у діапазоні від 60 до 130 МГц. При подальшому збільшенні робочої частоти ДН стає порізаною, з'являються провали в основних напрямках.

На рис. 2,б показано ДС антени, розташованої в нижній частині кільової балки, у п'ятій зоні, в якій ДС найменше порізана. При розміщенні антени ближче до фюзеляжу збільшується порізаність за рахунок екрануючого впливу фюзеляжу, а переміщення антени назад призводить до спотворення ДС за рахунок впливу хвостової п'яти. Зі збільшенням робочої частоти збільшується порізаність ДС і провал у передньому напрямку.

На рис. 2, *в*, *г* та *д* наведено ДС антен, розташованих відповідно в зонах 2, 3, 4 (рис. 1). У даному випадку антени забезпечують нормальну роботу радіостанцій у робочому діапазоні частот від 70 до 400 МГц. Встановлено, що наявність окремих вузьких провалів у ДС не впливає на якість зв'язку. Значне обмеження на розміщення зв'язних антен знизу фюзеляжу пояснюється малою відстанню між корпусом вертольота і землею.

В якості вертолітних антен ближнього зв'язку в діапазоні 100—150 МГц можуть використовуватися літакові антени, наприклад: вібраторні антени (несиметрична чвертьхвильова з заземленою основою та верхнім живленням), Г-подібний вібратор з верхнім живленням. Однак слід враховувати, що електричні характеристики однієї й тієї ж антени, встановленої на літаку та вертольоті, будуть різними, оскільки вони сильно залежать від розмірів, форми та кривизни несівної поверхні.

Завдяки тому, що сучасні вертольоти літають із порівняно невеликими швидкостями, вимоги до аеродинамічного опору та механічної міцності встановлених на них антен можуть бути дещо знижені. Це дозволяє використовувати у якості антен ближнього зв'язку, несиметричні вібратори, що виступають. Однак із збільшенням швидкостей вертольотів виникне необхідність застосування малопомітних зв'язкових антен, що мають низький аеродинамічний опір. Це, звичайно, викличе додаткові труднощі при створенні та розміщенні таких антен. Для вертольотів, у яких відсутній рульовий гвинт, можливим місцем розташування антени ближнього зв'язку може служити нижня частина вертикального хвостового стабілізатора.

З цього короткого огляду можна зробити висновок, що створення вертолітних антен пов'язане з серйозними труднощами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bell Flight. Bell 429 Specifications [Електронний ресурс]. URL: https://www.bellflight.com/products/bell-429 (дата звернення: 15.03.2026).

УДК 621.395

Сметанін І.М.[1], Костенко В.О.[2], Мороз Г.В.[3], Ковальчук Ф.К.[4]
[1] ст.викл. НУ «Запорізька політехніка»
[2] доц. НУ «Запорізька політехніка»
[3] ст.викл. НУ «Запорізька політехніка»
[4] студ. гр. БК-233 НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ АБОНЕНТІВ БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖІ В ГРУПІ

В роботі [1] пропонувалося при досягнені щільності абонентів певного порогового значення $D_{пор}$ формувати групи, використовуючи модель мобільності групи. Для кожної комірки мобільні станції (МС) n_m, які рухаються в одному напрямку, можна розподілити на M груп. Проте унаслідок нестаціонарності руху людей, групи можуть формуватися різною розмірністю, тому їх можна представити середнім значенням мінімальної (X) і максимальної (Y) чисельності абонентів в групі.

Щоб модель відповідала вимогам для персональних мереж (PNMM) [2] необхідно позначити область, в якій розташовується будь-яка група. Враховуючи той факт, що найбільш вірогідним буде сценарій, коли перевантаження може виникнути в умовах великого міста, то можна припустити, що абоненти здійснюватимуть рух під дією аттрактора по дорогам міських кварталів. Виходячи з цього, область, яка зайнята групою абонентів, обмежується шириною вулиць W_g, а довжину L_g, найдоцільніше узяти такою, щоб дорівнювала ширині W_g. Це пов'язано з тим, що діаграма спрямованості антен мобільних станцій кругова. Група формується навколо центрального орієнтиру. Тоді $L_g = W_g$, а площа, яка зайнята групою j на вулиці, буде

$$S_{g.j} = L_g \times W_g = W_g^{\,2}. \qquad (1)$$

Таким чином, вузол i, який належить до групи j розташовується в області $(x_{i.j}^{(t)}, y_{i.j}^{(t)})$.

Рух j-ої групи змінюється впродовж кожного часового інтервалу Δt, і відповідає руху центральної опорної точки (орієнтир) групи. Цей центральний орієнтир рухається у напрямку $\theta_{i.j}^{(t)}$ в діапазоні $[0, 2\pi]$ до аттрактору зі швидкістю $v_{i.j}^{(t)}$ $[0, V_{\max}]$. Тоді для j-ої групи швидкість $v_{g.j}^{(t)}$ визначатиметься шви-

дкістю центральної опорної точки групи в діапазоні $[0, V_{\max}]$. Швидкість $v_{g.j}^{(t)}$ можна обмежити в межах максимальної величини.

Оскільки центральний орієнтир групи j за час Δt пересувається з позиції $(x_{g.j}^{(t)}, y_{g.j}^{(t)})$ до $(x_{g.j}^{(t+\Delta t)}, y_{g.j}^{(t+\Delta t)})$, то відстань $l_{g.j}^{(t+\Delta t)}$, яку пройде j-та група за цей інтервал Δt, може бути розрахована як

$$l_{g.j}^{(t+\Delta t)} = \sqrt{\left(x_{g.j}^{(t)} - x_{g.j}^{(t+\Delta t)}\right)^2 + \left(y_{g.j}^{(t)} - y_{g.j}^{(t+\Delta t)}\right)^2} . \qquad (2)$$

Необхідно відзначити, що абоненти однієї групи за період Δt можуть випадковим чином пересуватися усередині площі, займаною групою $S_{g.j}$.

На рис. 1 відображені результати моделювання зміни кількісті абонентів в групі з інтервалом в 5 хвилин протягом 1 години 45 хвилин в 4-х попутних атракторах.

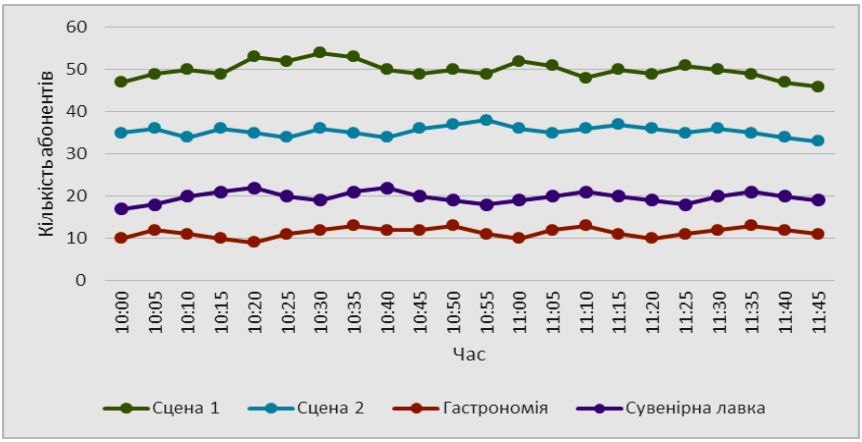


Рисунок 1 – Результати моделювання зміни кількісті абонентів в групі

Згідно з результатами моделювання можна припустити, що щільність абонентів в групі залишається стабільною. А переміщення абонентів відносно центрального орієнтиру групи, який рухається від $(x_{g.j}^{(t)}, y_{g.j}^{(t)})$ до $(x_{g.j}^{(t+\Delta t)}, y_{g.j}^{(t+\Delta t)})$, мала. Тому при розгляді руху груп абонентів до аттракторів таким внутрішньогруповим переміщенням можна нехтувати.

Тоді, виходячи з умов побудови PNMM, можна сказати, що кожен вузол i в групі j, під час руху від $(x_{i.j}^{(t)}, y_{i.j}^{(t)})$ до $(x_{i.j}^{(t+\Delta t)}, y_{i.j}^{(t+\Delta t)})$, за період Δt пересувається з постійною швидкістю $v_{i.j}^{(t)}$, яка визначається як

$$v_{i.j}^{(t)} = \frac{\sqrt{\left(x_{i.j}^{(t)} - x_{i.j}^{(t+\Delta t)}\right)^2 + \left(y_{i.j}^{(t)} - y_{i.j}^{(t+\Delta t)}\right)^2}}{\Delta t}. \quad (3)$$

Таким чином, можна вважати, що усі абоненти в групі в той же самий час рухаються разом.

В подальшому планується провести моделювання переміщення до атракторів декількох груп абонентів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сметанін І. М., Костенко В. О. Алгоритм гібридного методу формування груп абонентів. *Тиждень науки-2024. Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій* : зб. тез та доп. наук.- практич. конф. (м. Запоріжжя, 15–19 квітня 2024 р.) Запоріжжя, 2024. С. 11-12. URL: https://old.zp.edu.ua/uploads/dept_s&r/2024/conf/4.1/TN-FIBEK_2024.pdf. (дата звернення: 23.03.2026).

2. Gu Y., Prasad R. V., Niemegeers I. Mobility Modeling for Personal Networks // Wireless Personal Communications. 2011. Vol. 58. No. 2. P. 169–196.

УДК 004.94:621.39

Морщавка С.В.[1], Пізик П.М.[2]
[1] доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. БК-913 НУ «Запорізька політехніка»

ЛОКАЛЬНА НЕЙРОМЕРЕЖЕВА МОДЕЛЬ ЯК ОПЕРАТОР ПОШИРЕННЯ РАДІОСИГНАЛУ У НЕОДНОРІДНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Задача прогнозування розподілу рівня сигналу у приміщеннях традиційно вирішується або емпіричними моделями з обмеженою точністю, або детерміністичним трасуванням променів з високою обчислювальною складністю. Нейромережеві підходи, що навчаються та застосовуються до повних

планів приміщень, потребують великих навчальних вибірок і не масштабуються на об'єкти довільного розміру.

У доповіді запропоновано локальний підхід, за яким план приміщення розбивається на рівномірну сітку квадратних фрагментів фіксованого розміру. Для кожного фрагмента нейронна мережа виконує роль оператора поширення поля: отримуючи на вході значення сигналу на граничних рамках фрагмента та маску структурних елементів (стіни, перегородки, вікна, двері з відповідними коефіцієнтами загасання), вона відновлює розподіл сигналу у внутрішній зоні. Завдяки декомпозиції навчання виконується на значно більшій кількості зразків при обмеженій кількості повних планів, що суттєво знижує вимоги до їх кількості.

Реалізовано спеціалізовані мережі з архітектурою U-Net для відновлення внутрішньої зони фрагмента за повністю або частково відомими граничними рамками. Вхідний двоканальний тензор містить поточний стан сигнального поля та маску середовища, що дозволяє моделі враховувати як фізичні властивості перешкод, так і наявні граничні умови. Функція втрат поєднує зважену середньоквадратичну похибку для внутрішньої зони і штраф за точність вихідних граничних рамок - останнє забезпечує коректну передачу інформації до сусідніх фрагментів.

Запропонований підхід дозволяє будувати карти покриття для приміщень довільного розміру без повторного навчання, оскільки мережі завжди оперують фрагментами фіксованого розміру незалежно від масштабу задачі. Порівняння з еталонними картами детерміністичного трасування підтверджує коректне відтворення ефектів загасання та тінеутворення при проходженні сигналу через конструктивні елементи..

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Pyo C., Sawada H., Matsumura T. A deep learning-based indoor radio estimation method driven by 2.4 GHz ray-tracing data // IEEE Access. 2023. Vol. 11. P. 138215–138228. URL: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3340204 (дата звернення: 15.03.2026).

УДК 004.94:621.39
Морщавка С.В.[1], Рзаєв С.Р.[2]
[1] доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. БК-232сп НУ «Запорізька політехніка»

СПОСІБ ОРГАНІЗАЦІЇ ІТЕРАТИВНОГО ПОШИРЕННЯ ПРОГНОЗУ РАДІОПОКРИТТЯ

Побудова глобальної карти покриття приміщення на основі локальних нейромережевих прогнозів потребує механізму, який забезпечує узгоджену передачу інформації між сусідніми ділянками простору та враховує спрямований характер поширення радіосигналу від джерела.

У доповіді запропоновано організацію розрахунку за принципом клітинного автомата: план приміщення представляється як сітка фрагментів, стан кожного з яких — прогнозований розподіл рівня сигналу — визначається станами сусідніх фрагментів через локальну нейромережеву модель. Розрахунок розпочинається від фрагмента з передавачем і поширюється хвильовим фронтом: кожен опрацьований фрагмент передає свої граничні значення сусідам, які стають наступними елементами черги обходу. Це відповідає класичній моделі клітинного автомата, де нова генерація станів формується на основі поточних станів сусідніх клітин.

Перший повний прохід хвилі формує початкове поле покриття, однак на межах між фрагментами можуть виникати неоднорідності через неповноту граничних умов на початкових кроках поширення. Для їх усунення реалізовано багатопрохідну релаксацію: виконуються додаткові повні проходи хвилі по всіх фрагментах, між якими застосовується згладжування сигнального поля. При цьому, наприклад, граничні значення фрагментів оновлюються частково – результуюче значення складає 60% від попереднього стану та 40% від згладженого, — що дозволяє межам адаптуватися між проходами без жорсткого скидання та забезпечує справжню релаксацію системи. Кількість додаткових проходів задається параметром.

Для встановлення граничних умов у ситуації, коли відома лише частина меж фрагмента, додатково застосовується гібридний підхід, що формує фізично обґрунтоване наближення відсутніх значень з урахуванням згасання сигналу на шляху через структурні елементи.

Запропонована схема дозволяє природно врахувати ефекти тінеутворення та поступового затухання сигналу, зберігаючи при цьому лінійну обчислювальну складність відносно площі плану.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Thrane J., Zibar D., Christiansen H. L. Model-aided deep learning method for path loss prediction in mobile communication systems at 2.6 GHz // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 7925–7936. URL: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2964103 (дата звернення: 13.03.2026).

2. Gardner M. Mathematical games: The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game «Life». *Scientific American*. 1970. No. 223. P. 120–123.

УДК 621.391.15

Гнєздовський О.В.[1] , Купін Д.А.[2]

[1] доцент кафедри НУ «Запорізька політехніка»

[2] студент групи БК-235

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ LDPC-КОДІВ

Сучасні системи радіозв’язку функціонують в умовах щільної завадової обстановки та обмеженої енергетики сигналу, що зумовлює необхідність пошуку ефективних методів підвищення достовірності передачі даних без суттєвого збільшення потужності передавача. У зв’язку з цим особливої актуальності набувають підходи, що базуються на використанні завадостійкого кодування.

Еволюція методів кодування пройшла шлях від класичних блокових кодів, зокрема кодів Ріда–Соломона, та згорткових кодів до сучасних ітераційних алгоритмів декодування. Традиційні методи, що базуються на жорсткому декодуванні, демонструють обмежену ефективність у каналах із високим рівнем завад, оскільки не враховують повною мірою імовірнісну природу прийнятого сигналу. Турбо-коди дозволили суттєво наблизитися до теоретичної межі пропускної здатності, проте мають низку недоліків, зокрема значні затримки декодування та наявність ефекту «підлоги помилок».

У цьому контексті перспективним напрямом є використання кодів із малою щільністю перевірок на парність (LDPC), які поєднують високу коректійну здатність із прийнятною обчислювальною складністю. Однією з ключових переваг LDPC-кодів є можливість ефективного застосування ітераційних алгоритмів декодування, що базуються на обробці м’яких рішень.

Теоретичною основою дослідження є наближення до межі Шеннона, яка визначає максимальну пропускну здатність каналу зв’язку за наявності шуму. Структура LDPC-кодів описується за допомогою двочасткового графа Тан-

нера, що забезпечує ефективну організацію обміну інформацією між вузлами змінних і перевірок у процесі декодування.

Ключовим елементом оцінювання достовірності прийнятого сигналу є логарифмічне відношення правдоподібності, яке дозволяє перейти від множення ймовірностей до більш ефективних операцій додавання. В умовах каналу з адитивним білим гаусовим шумом така модель забезпечує адекватний опис впливу завад та дозволяє досліджувати ефективність застосування LDPC-кодів у реальних умовах.

Для декодування використовується ітераційний алгоритм Belief Propagation, який передбачає послідовне уточнення ймовірнісних оцінок переданих символів. Такий підхід дозволяє підвищити завадостійкість системи та забезпечити стабільну передачу даних навіть при низьких значеннях відношення сигнал/шум.

Важливою складовою сучасних підходів до підвищення завадостійкості є врахування можливостей апаратної реалізації алгоритмів. Структурні особливості LDPC-кодів забезпечують високий рівень паралелізму обчислень, що створює передумови для ефективної реалізації на FPGA та GPU. Використання таких платформ дозволяє значно підвищити швидкодію систем декодування та забезпечити їх адаптацію до вимог високошвидкісних радіоелектронних систем.

У межах подальших досліджень передбачається виконання імітаційного моделювання процесу передачі даних із використанням LDPC-кодів у каналі з адитивним білим гаусовим шумом. Основною метою моделювання є оцінювання залежності ймовірності бітової помилки (BER) від відношення сигнал/шум (SNR) та аналіз ефективності ітераційного декодування. Очікується, що застосування алгоритму Belief Propagation дозволить отримати характерну «водоспадну» залежність BER, що свідчить про суттєве підвищення завадостійкості системи порівняно з некодованою передачею.

Отже, застосування LDPC-кодів у поєднанні з ітераційними алгоритмами декодування та сучасними засобами апаратної підтримки розглядається як ефективний метод підвищення завадостійкості радіоелектронних систем. Запропонований підхід створює основу для подальшого математичного моделювання та кількісного аналізу характеристик систем передачі даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Наритник Т. М. та ін. Аналіз перспектив використання терагерцевого діапазону частот для безпроводових мереж зв'язку спеціального призначення. *Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки*. 2024. № 5. С. 138–153. URL: https://doi.org/10.58254/viti.5.2024.13.138 (дата звернення: 27.03.2026).

2. Proakis J. G., Salehi M. Digital Communications. New York : McGraw-Hill Education, 2007.

3. Tanner R. M. A recursive approach to low complexity codes. *IEEE Transactions on Information Theory*. 1981. Vol. 27, no. 5. P. 533–547.

УДК 004.7:004.056

Чуприна Д.Ю.[1], Самойлик С.С.[2]
[1] студ. гр. БК-913сп НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ SDN У КОРПОРАТИВНИХ МЕРЕЖАХ

Сучасні корпоративні мережі стикаються зі зростанням трафіку та проблемами безпеки. Традиційна архітектура виявляється недостатньо гнучкою. Метою роботи є оптимізація управління інфраструктурою кампусу шляхом впровадження програмно-конфігурованих мереж (SDN), які відокремлюють логіку управління в централізований контролер.

У традиційних мережах функції реалізуються апаратно, що вимагає нового обладнання та зайвих витрат при змінах. Складність управління та проблеми сумісності виникають через реалізацію площин керування та передачі даних у межах одного пристрою. SDN вирішує ці проблеми шляхом розділення керування від пересилання пакетів та дозволяє програмувати мережу [1]. А також, бачити її як один логічний комутатор.

Дослідження зосереджено на аналізі поведінки різних типів мережевих пакетів, впровадженні технології SDN у кампусній мережі шляхом налаштування політик NAC, а також підсумковій оцінці отриманих результатів; об’єктом дослідження була корпоративна мережа Національного університету «Запорізька політехніка».

Моделювання проводилося в Mininet з використанням віртуальних комутаторів Open vSwitch під управлінням контролера Ryu [2], [3]. Оцінка пропускної здатності та затримок передачі даних проводилася з використанням мережевої утиліти iPerf. iPerf – це стандартний галузевий інструмент для активного вимірювання максимальної пропускної здатності в IP-мережах. Вона працює за клієнт-серверною моделлю, дозволяючи створювати контрольовані потоки трафіку для точної оцінки затримок та відсотка втрачених пакетів під навантаженням. Логічна топологія мережі базується на плані розташування корпусів університету. Для безпеки було розроблено алгоритм обмеження швидкості обробки запитів, що надійно захищає від DoS-атак. Структурна схема мережі представлена на рисунку 1.

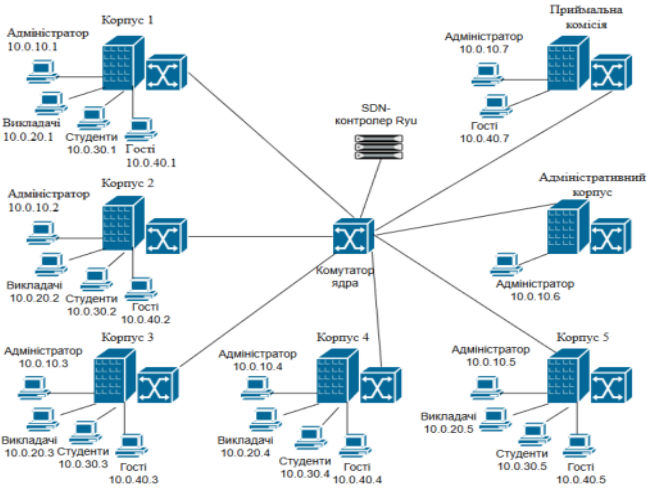


Рисунок 1 – Структурна схема SDN-мережі кампусу

Тестування показало максимальну пропускну здатність 19.4 Гбіт/с та затримку 0.053 мс. Це гарантує стабільну роботу сервісів та ізоляцію трафіку різних груп користувачів. Отримані результати підтверджують доцільність модернізації корпоративних мереж за допомогою технології SDN.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kreutz D. Software-defined networking. *Proceedings of the IEEE*. 2015. Vol. 103. P. 14-76.

2. OpenFlow Switch Specification. Version 1.3.0. ONF, 2012. 106 p.

3. Ryu SDN Framework [Електронний ресурс]. URL: https://ryu.readthedocs.io/ (дата звернення: 28.03.2026).

УДК 621.39:004.7:621.311.1

Мезенок С.В.[1], Самойлик С.С.[2]

[1] студ. гр. БК-915м НУ «Запорізька політехніка»

[2] канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ПЕРЕХІД НА 5G ТЕХНОЛОГІЮ ПІД ЧАС БЛЕКАУТІВ В УКРАЇНІ

В умовах блекаутів в Україні стабільність мобільного зв’язку є критично важливою для населення та критичної інфраструктури. Перехід на 5G

технологію розглядається як перспективний напрям розвитку телекомунікацій, однак його впровадження пов'язане з низкою енергетичних, інфраструктурних та частотних обмежень.

5G забезпечує до 90% вищу енергоефективність на одиницю трафіку порівняно з 4G, що потенційно дозволяє більш раціонально використовувати обмежені енергоресурси під час блекаутів [1],[2].

Водночас загальне енергоспоживання зростає через щільнішу інфраструктуру, використання Massive MIMO та необхідність великої кількості базових станцій [3]. У результаті навантаження на системи резервного живлення значно збільшується. Мережі 5G потребують значно більшої кількості малих сот через обмежений радіус дії високочастотних сигналів. Це ускладнює забезпечення автономної роботи під час відключень електроенергії. Базові станції 5G споживають у 2–3 рази більше енергії, ніж 4G, що скорочує час їх роботи від акумуляторів і підвищує залежність від генераторів та альтернативних джерел живлення.

Для забезпечення якісного покриття 5G необхідна комбінація низьких і високих частот:

700 МГц — для широкого покриття та проникнення сигналу та 3500 МГц — для високошвидкісної передачі даних. В Україні в діапазоні 700 МГц наразі доступно лише близько 20 МГц, що є недостатнім для повноцінного використання всіма операторами. Для забезпечення ефективного розгортання 5G державі необхідно додатково вивільнити щонайменше 10 МГц у цьому діапазоні [4]. Реалізація цього заходу є можливою після завершення воєнного стану.

Технологічні рішення для підвищення стійкості мобільних мереж 5G : енергозберігаючі режими базових станцій (sleep mode); self-organizing networks (SON) та AI-оптимізація; network slicing для пріоритезації критичного трафіку; mobile edge computing для зменшення навантаження на ядро мережі; використання відновлюваних джерел енергії; спільне використання інфраструктури операторами (network sharing)[5].

Попри вищу ефективність передачі даних, 5G є більш чутливим до енергетичних обмежень через складну інфраструктуру та високу щільність базових станцій. 4G у таких умовах залишається більш стабільним завдяки нижчому енергоспоживанню та більшому радіусу покриття.

Перехід на 5G в Україні в умовах блекаутів є перспективним, але складним з точки зору енергетичної стійкості та частотного забезпечення. Ключовими факторами успішного впровадження є модернізація інфраструктури, забезпечення резервного живлення та розширення частотного ресурсу, зокрема в діапазоні 700 МГц. Лише після вирішення цих питань можливо повноцінне розгортання 5G-мереж на національному рівні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Shurdi O., Ruci L., Biberaj A., Mesi G. 5G Energy Efficiency Overview // European Scientific Journal. 2021. Vol. 17. No 3. P. 315–327. URL: https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n3p315 (дата звернення: 13.02.2026).

2. Andersson C. та ін. Improving energy performance in 5G networks and beyond. Ericsson Technology Review. 2022.

3. Lassoued N., Boujnah N. A Comprehensive Review of Energy Efficiency in 5G Networks: Past Strategies, Present Advances, and Future Research Directions. *Computers.* 2026. Vol. 15, No. 1. Art. 50. URL: https://doi.org/10.3390/computers15010050 (дата звернення: 13.02.2026).

4. 5G вже в Україні – все про швидкість, тарифи та роботу без світла [Електронний ресурс]. URL: https://thedigital.gov.ua/news/zviazok-ta-internet/5g-vze-v-ukrayini-vse-pro-shvydkist-taryfy-ta-robotu-bez-svitla (дата звернення: 13.03.2026).

5. Ichimescu A., Popescu N., Popovici E. C., Toma A. Energy Efficiency for 5G and Beyond 5G: Potential, Limitations, and Future Directions. *Sensors.* 2024. Vol. 24. No. 22. Art. 7402. URL: https://doi.org/10.3390/s24227402 (дата звернення: 13.03.2026).

УДК 621.395

Плетінь Д.Ю. [1], Красько А.А. [2], Трохименко В.В. [3], Мороз Г.В. [4]

[1] студ. гр. БК-913 НУ «Запорізька політехніка»

[2] студ. гр. БК-914 НУ «Запорізька політехніка»

[3] студ. гр. БК-313сп НУ «Запорізька політехніка»

[4] ст. викладач каф РТТ

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАНУВАННЯ РАДІОМЕРЕЖІ 5G NR ДЛЯ ЦЕНТРУ МІСТА ЛЬВОВА

Метою роботи є розробка та дослідження ефективної конфігурації радіомережі 5G NR для умов щільної міської забудови з урахуванням забезпечення стабільного покриття, високої пропускної здатності та якісного обслуговування великої кількості користувачів.

У роботі розглянуто процес планування радіомережі 5G NR для центральної частини міста Львова (рис.1) площею 1,1 км² з населенням близько 20 000 осіб. Дана територія характеризується щільною забудовою та високим рівнем мережевого навантаження.

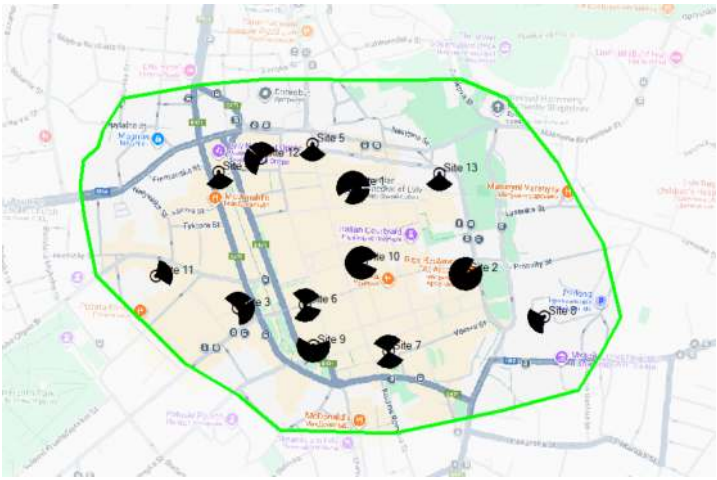


Рисунок 1 – Зона планування

Було виконано аналіз особливостей міського середовища та визначено основні вимоги до мережі: забезпечення рівномірного покриття як у приміщеннях, так і на відкритій місцевості.

У рамках роботи здійснено планування основних параметрів мережі, зокрема розподіл ідентифікаторів PCI. Для визначення значень PCI було використано як спеціалізоване програмне забезпечення Atoll, так і стандартна формула(1), що застосовується в мережах LTE та 5G (рис. 2)[1].

$$PCI = 3 \times SSS\ ID + PSS\ ID \quad (1)$$

Site	Transmitter	Name	Radio Access Technology	Frequency Band	Channel Number	Domain Violation	Physical Cell ID	PSS ID	SSS ID	Cost	SSS ID Status	PSS ID Status
Site 1	Site 1_cell A	Site 1_cell A(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	20	2	6	0	Allocated	Allocated
	Site 1_cell B	Site 1_cell B(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	18	0	6	0	Allocated	Allocated
	Site 1_cell C	Site 1_cell C(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	19	1	6	0	Allocated	Allocated
Site 10	Site 10_cell A	Site 10_cell A(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	22	1	7	0	Allocated	Allocated
	Site 10_cell B	Site 10_cell B(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	23	2	7	0	Allocated	Allocated
	Site 10_cell C	Site 10_cell C(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	21	0	7	0	Allocated	Allocated
Site 11	Site 11_cell A	Site 11_cell A(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	0	0	0	0	Allocated	Allocated
Site 12	Site 12_cell A	Site 12_cell A(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	3	0	1	0	Allocated	Allocated
	Site 12_cell B	Site 12_cell B(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	5	2	1	0	Allocated	Allocated
Site 13	Site 13_cell A	Site 13_cell A(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	15	0	5	0	Allocated	Allocated
Site 2	Site 2_cell A	Site 2_cell A(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	14	2	4	0	Allocated	Allocated
	Site 2_cell B	Site 2_cell B(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	13	1	4	0	Allocated	Allocated
	Site 2_cell C	Site 2_cell C(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	12	0	4	0	Allocated	Allocated
Site 3	Site 3_cell A	Site 3_cell A(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	17	2	5	0	Allocated	Allocated
	Site 3_cell B	Site 3_cell B(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	16	1	5	0	Allocated	Allocated
Site 4	Site 4_cell A	Site 4_cell A(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	4	1	1	0	Allocated	Allocated
Site 5	Site 5_cell A	Site 5_cell A(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	7	1	2	0	Allocated	Allocated
Site 6	Site 6_cell B	Site 6_cell B(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	6	0	2	0	Allocated	Allocated
	Site 6_cell C	Site 6_cell C(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	8	2	2	0	Allocated	Allocated
Site 7	Site 7_cell A	Site 7_cell A(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	1	1	0	0	Allocated	Allocated
	Site 7_cell B	Site 7_cell B(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	2	2	0	0	Allocated	Allocated
Site 8	Site 8_cell A	Site 8_cell A(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	11	2	3	0	Allocated	Allocated
Site 9	Site 9_cell A	Site 9_cell A(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	10	1	3	0	Allocated	Allocated
	Site 9_cell B	Site 9_cell B(0)	5G NR	n78	100MHz - NR-ARFCN	✔	9	0	3	0	Allocated	Allocated

Рисунок 2 – Результати планування PCI в Atoll

Спочатку значення PCI були згенеровані в програмному забезпеченні Atoll, а після були підтвердженні стандартною формулою розрахунку PCI в сучасних мережах. Отримані результати повністю співпали, що підтверджує відсутність конфліктів між сусідніми сотами.

Обрано частотний діапазон n78 з центральною частотою 3600 МГц та шириною каналу 100 МГц, що дозволяє досягти достатнього рівня покриття та пропускної здатності. Для передачі даних використано TDD-конфігурацію кадру 7:3, яка забезпечує ефективний розподіл трафіку між каналами передачі та прийому даних[2].

Також у роботі розглянуто перспективні напрями застосування технології 5G, таких як: розвиток «розумних міст», Інтернету речей, автономного транспорту та технологій доповненої реальностір[3].

У результаті виконаної роботи було розроблено ефективну модель радіомережі 5G NR, яка забезпечує повне покриття досліджуваної території, високу якість обслуговування користувачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Dahlman E., Parkvall S., Sköld J. *5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology.* Academic Press, 2018.

2. 3GPP TS 38.300: NR; Overall description; Stage 2 (Release 17). 3rd Generation Partnership Project, 2023.

3. Atoll Radio Planning User Manual v.22.1. Forsk S.A.S., 2023.

УДК 621.395

Плетінь Д.Ю. [1], Мороз Г.В. [2], Сметанін І.М [3], Костенко В.О [4]
[1] студ. гр. БК-913 НУ «Запорізька політехніка»
[2,3] ст.викладач каф РТТ
[4] доц. НУ «Запорізька політехніка»

МЕТОД БОРОТЬБИ З ПЕРЕШКОДАМИ В КАНАЛІ ПРИЙОМУ LI-FI

У попередній роботі було розглянуто принцип роботи та застосування системи зв’язку Li-Fi на основі OFDMA. Дане дослідження є її продовженням і присвячене боротьбі з перешкодами в каналі прийому [1].

До основних джерел перешкод належать природні та штучні джерела світла: сонячне світло, лампи побутового користування, та відбиття сигналу від різних поверхонь. Це призводить до спотворення прийнятого сигналу та зниження якості передачі інформації.

Для вирішення даної проблеми в роботі прийнято рішення доповнити існуючу систему адаптивним просторовим фільтром (рис.1) із введенням одного або декількох компенсаційних каналів у приймальному тракті.

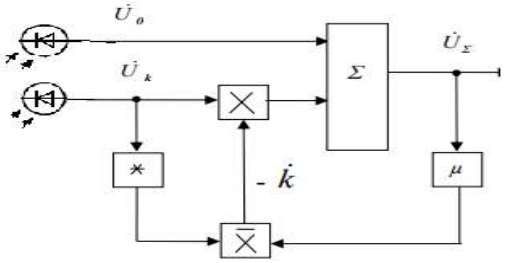


Рисунок 1 – Структурна схема адаптивного просторового фільтра

Принцип її роботи полягає у формуванні різниці між сигналом основного каналу та зваженим сигналом компенсаційного каналу. Вагові коефіцієнти визначаються адаптивно на основі кореляційного аналізу, що забезпечує мінімізацію впливу завад .

За умови достатньо великого коефіцієнта підсилення та високої кореляції завад у каналах досягається практично повна їх компенсація.

Результати моделювання в середовищі Matlab Simulink (рис.2) підтверджують ефективність запропонованого підходу: спостерігається зменшення рівня перешкод та покращення якості сигналу після його обробки [2].

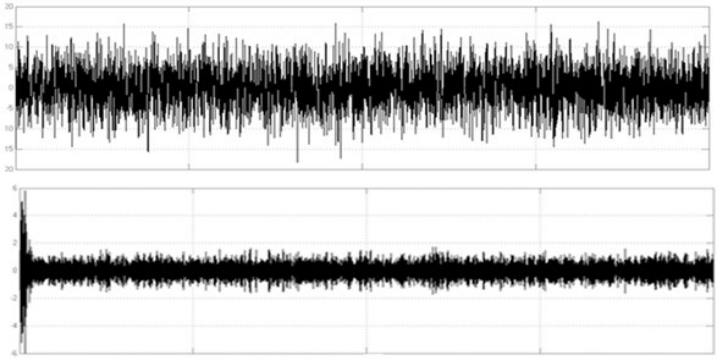


Рисунок 2 – Сигнал до та після знешумлення

Таким чином, запропонований метод адаптивної автокомпенсації завад є ефективним доповненням до базової моделі системи Li-Fi та дозволяє

значно підвищити її надійність і якість роботи в умовах наявності зовнішніх перешкод.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Плетінь Д. Ю., Мороз Г. В. Передача інформації за допомогою лазерних технологій. *Тиждень науки–2025. Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій*: зб. тез доп. наук.-практич. конф. (м. Запоріжжя, 14–18 квітня 2025 р.) Запоріжжя, 2025. URL: https://zp.edu.ua/wp-content/uploads/2025/11/tn_fibek-2025.pdf (дата звернення: 30.03.2026).

2. MathWorks. Simulink Documentation [Електронний ресурс]. URL: https://www.mathworks.com/help/simulink (дата звернення: 30.03.2026).

СЕКЦІЯ «ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ»

УДК 004.93:621.384
Малий О.Ю.[1], Фурманова Н.І.[1], Фарафонов О.Ю.[1]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

МЕТОДИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ЗОБРАЖЕННЯХ ТА ВІДЕО З ВИКОРИСТАННЯМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ

Сучасний розвиток систем управління робототехнічними платформами вимагає впровадження автоматизованого пошуку об'єктів, панорамного огляду та тривимірної діагностики.

Проте існуючі системи виявлення об'єктів мають суттєвий недолік – використання лазерних далекомірів, що працюють за активним принципом. Ключові недоліки активних систем:

- демаскування: Випромінювання лазерних далекомірів фіксується детекторами лазерного опромінення (LWR);

- обмеження багатоцільовості: система пошуку може вимірювати дальність лише до одного об'єкту за раз, що знижує динаміку роботи;

- вплив атмосфери: точність лазерної дальнометрії суттєво падає в умовах дощу, туману, пилових бур або використання аерозольних завіс;

Складність детекції малих об'єктів: лазерні дальноміри важко фіксують об'єкти з низьким коефіцієнтом відбиття або малим кутовим розміром (антени, дроти).

Вирішенням цих проблем є розробка пасивних оптико-електронних систем (ОЕС) на базі технічного зору (рис. 1), що дозволяють визначати координати, дальність та швидкість об'єктів, не випромінюючи енергії.

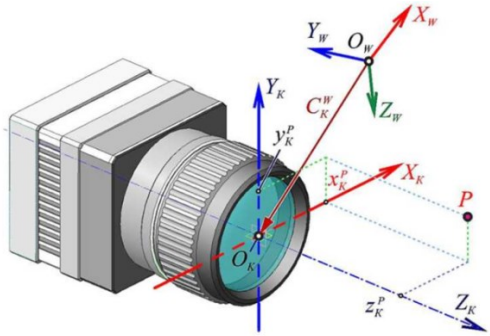


Рисунок 1 – Зв'язок СК камери, світової СК та координат об'єкта Р

Для пасивного визначення параметрів цілей розглянуто три основні методи:

- кутомірно-кутомірний спосіб: базується на прямій засічці з двох точок з відомими координатами. Недоліком є складність автоматизації ідентифікації об'єкта, який бачиться під різними ракурсами;

- різницево-далекомірний спосіб: використовується переважно у звуковій розвідці. Вимагає надточної синхронізації часу між робототехнічними платформами та складної ідентифікації джерела «пульсуючої» енергії (спалаху);

- кутомірно-далекомірний спосіб: найбільш перспективний для реалізації на одній робототехнічній платформі. Дальність при цьому може визначатися пасивно через лінійні розміри цілі (має низьку точність – похибка 10-20%).

Класичні моделі камер (на основі афінної проекції) не враховують специфіку військової техніки. У роботі запропоновано розширену модель, яка включає:

- взаємозв'язок між піксельними та метричними координатами з урахуванням межпіксельних інтервалів фотоматриці;

- корекцію дисторсії: не лише радіальної, а й тангенціальної, що виникає через недосконаліть лінз або перекоси при монтажі матриці;

- вплив захисного скла: враховано заломлення променів у товстому захисному склі прицілів, що критично для точності на великих відстанях.

Математично модель зв'язує координати об'єкта у світовій системі координат з його проекцією на матрицю через матриці внутрішньої калібровки (параметри пікселя, фокусна відстань) та зовнішньої калібровки (орієнтація камери в просторі).

На основі моделі камери розроблено моделі вимірювальних систем у різних конфігураціях:

- система з двох нормально розташованих камер: класична стереопара з паралельними осями;

- система з захисним склом: враховує товщину та коефіцієнт заломлення матеріалу;

- довільно розташовані камери: модель дозволяє використовувати камери з різними технічними характеристиками, розташовані під випадковими кутами, що важливо для модернізації техніки, де місце для встановлення ОЕС обмежене конструкцією.

На рисунку 2 приведений алгоритм виявлення об'єктів.

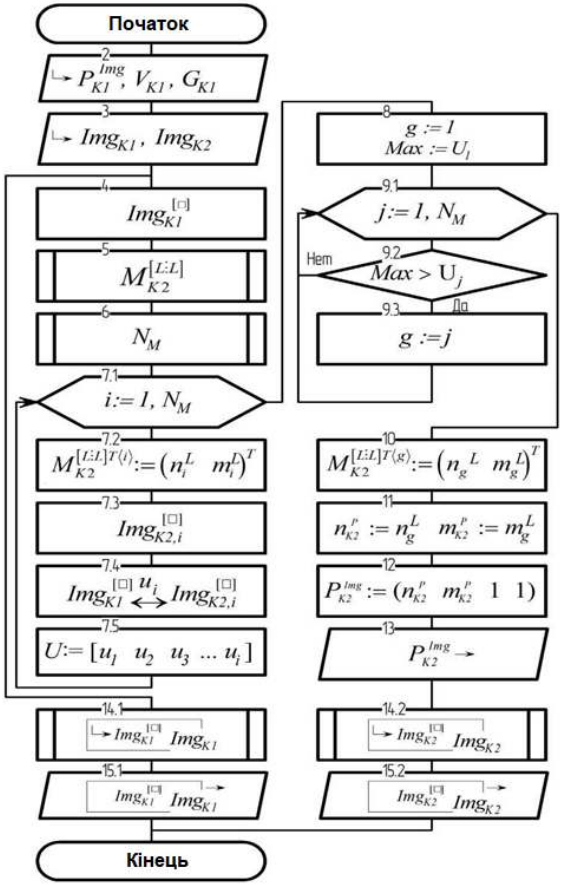


Рисунок 2 - Блок-схема алгоритму пошуку

Ключовим завданням є робота в реальному часі на малопотужних обчислювальних засобах роботизованих плотформ.

Запропонована пасивна ОЕС дозволяє:

- забезпечити скритність роботи систем виявлення об’єктів, унеможливлюючи детекцію засобами LWR;

- здійснювати багатоцільовий супровід та автоматичне цілерозподілення в реальному часі;

- працювати в умовах радіоелектронних та оптичних завад, де лазерні системи виходять з ладу;

- створювати ефективні роботизовані комплекси, де технічний зір є основним джерелом інформації про середовище.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zaidi S. A., Ansari M. S., Aslam A., Kanwal N., Asghar M., Lee B. A Survey of Modern Object Detection Algorithms. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 31613-31635. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3160329.

2. Zou Z., Chen K., Shi Z., Guo Y., Ye J. Object Detection in 20 Years: A Survey. *Proceedings of the IEEE*. 2023. Vol. 111. No. 3. P. 257-276. DOI: https://doi.org/10.1109/JPROC.2023.3242224.

3. Li H., et al. RT-DETR: Real-Time Detection Transformer for Optoelectronic Tracking Systems. *Journal of Real-Time Image Processing*. 2025. Vol. 20. No. 1. P. 45-62.

УДК 004.384

Малий О.Ю.[1], Онищенко В.Ф.[2], Поспєєва І.Є.[3]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[3] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РОБОТОМ-МАНІПУЛЯТОРОМ ТИПУ SCARA ДЛЯ ОПЕРАЦІЙ «PICK-AND-PLACE»

Сучасна робототехніка стрімко розвивається завдяки доступності недорогих мікроконтролерів, технологій 3D-друку та відкритих програмних рішень. Це відкриває можливості для створення спеціалізованих маніпуляторів не лише в промислових масштабах, а й у науково-дослідних та аматорських проектах [1-2].

Метою даної роботи є проектування, аналіз та фізична конструкція роботизованого маніпулятора з кінематичною топологією SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm), побудованого виключно на доступних комерційних (off-the-shelf) компонентах (рис. 1).

Основними модулями маніпулятора є:

- основа - несе навантаження всієї конструкції;
- ланки (Links): жорсткі частини, що з'єднують суглоби;
- суглоби (Joints): рухомі з'єднання, оснащені актуаторами;
- кінцевий ефектор: інструмент (захват, електромагніт), що взаємодіє з оточенням.

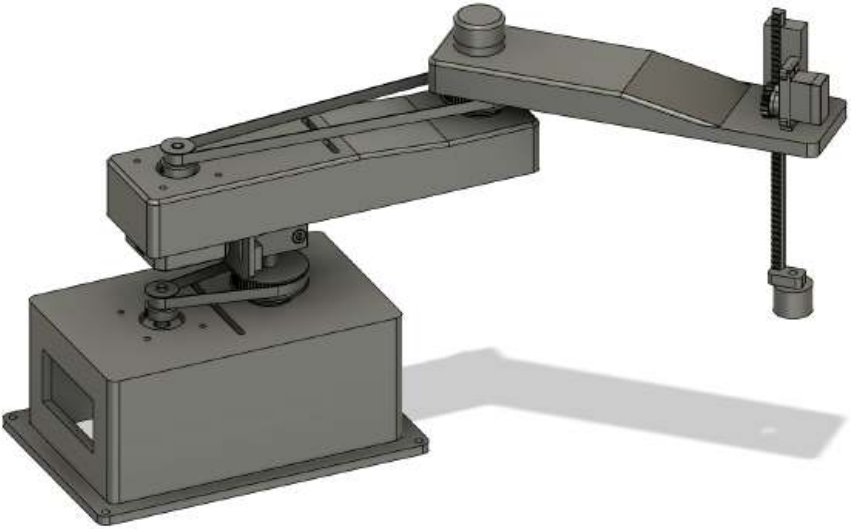


Рисунок 1 - Модель розробленого маніпулятора

Для керування рухом використовується математичне моделювання: Пряма кінематика: розрахунок позиції ефектора на основі заданих кутів суглобів за допомогою матриць трансформації (модель Денавіта-Хартенберга).

Інверсна кінематика: обчислення необхідних кутів суглобів для досягнення цільової точки у просторі. Для складних систем застосовуються чисельні ітераційні методи, для простіших (як SCARA) – аналітичні методи з закритими формулами.

Порівняно з декартовими та антропоморфними маніпуляторами, SCARA забезпечує високу швидкість та точність при операціях типу «pick-and-place». Вона поєднує обертальні рухи в горизонтальній площині (2 ступені вільності) з лінійним переміщенням по вертикальній осі Z.

Для реалізації проекту (рис. 2) було проаналізовано ринок доступних компонентів:

- двигуни: обрано гібридні крокові двигуни NEMA 17 (17HS3401) для основних осей через їх здатність до точного позиціонування без потреби в енкодерах (крок 1.8°);

- керуючий пристрій: Raspberry Pi 5. Вибір обумовлений наявністю повноцінної ОС Linux, великим об’ємом пам’яті та обчислювальною потужністю для майбутніх задач (наприклад, комп'ютерного зору), що перевершує можливості Arduino чи ESP32;

- кінцевий ефектор: електромагніт KK-P20/15 для маніпуляцій з металевими об’єктами вагою до 100 г;

- вертикальна вісь: мікросервопривід SG90, з’єднаний з рейковим механізмом для забезпечення лінійного ходу 120 мм.

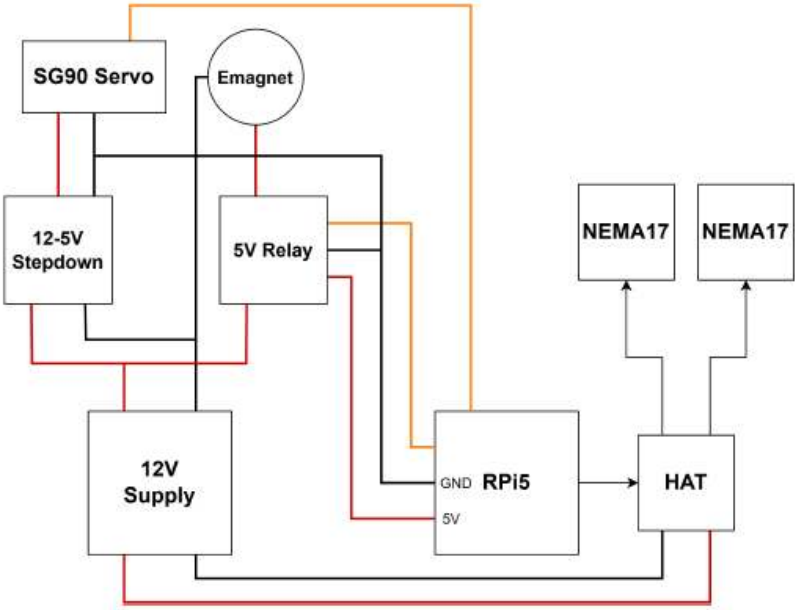


Рисунок 2 – Спрощена схема підключення

Система керування розділена на два рівні:

Низький рівень (Сервер): Скрипт на Python, запущений на Raspberry Pi, що використовує бібліотеку pigpio для генерації імпульсів у реальному часі та керування драйверами двигунів (Waveshare Stepper Motor HAT).

Високий рівень (GUI): Десктопний додаток на базі PyQt6, що дозволяє оператору вводити команди. Зв’язок між ПК та маніпулятором здійснюється через протокол WebSocket з використанням JSON-повідомлень.

Корпус та ланки маніпулятора виготовлені з PLA-пластику. Для забезпечення жорсткості при мінімальній вазі внутрішня структура ланок була посилена спеціальним «XX»-патерном (raster). На рисунку 3 приведене зображення маніпулятора у зібраному вигляді.

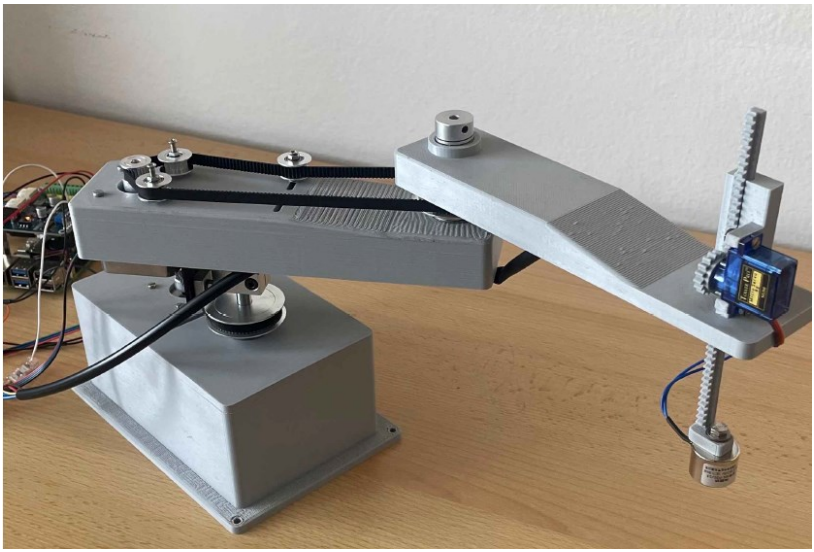


Рисунок 3 – Маніпулятор в зібраному вигляді

Передача моменту: Використано систему GT2 пасів та шківів з відношенням 1:3, що підвищило роздільну здатність крокових двигунів та крутний момент.

Опори: Вали встановлені на підшипниках F608ZZ (фланцеві) та 608ZZ для поглинання осьових та радіальних навантажень.

Живлення: Дворівнева архітектура. Блок живлення 12V/6A (Mean Well LRS-75-12) живить двигуни та електромагніт, а через step-down конвертер – сервопривід. Raspberry Pi має окреме живлення для стабільності ОС.

В результаті роботи було створено функціональний прототип маніпулятора SCARA з трьома ступенями вольності (RRP).

Досягнуті параметри: Максимальний виліт – 338 мм, вертикальний хід – 120 мм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kumar V. et al. Design and Implementation of a 4-DOF SCARA Robot for Educational Purposes. *Journal of Robotics and Control (JRC)*. 2025. Vol. 6. No. 2. P. 112–125

2. Craig J. J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. 4th ed. Pearson, 2017. 400 p.

УДК 004.94:004.318

Малий О. Ю.[1], Онищенко В.Ф.[2], Піроженко О.О.[3]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[3] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

ВЕБ-СИМУЛЯТОР МІКРОКОНТРОЛЕРА RASPBERRY PI PICO 2 НА БАЗІ АРХІТЕКТУРИ RISC-V

Мікроконтролер RP2350 від Raspberry Pi Foundation важливий в індустрії вбудованих систем завдяки його унікальній «двоядерній та двоархітектурній» концепції. Можливість перемикання між ядрами ARM Cortex-M33 та RISC-V (Hazard3) відкриває великі горизонти для розробників. Проте відсутність фізичного обладнання або складність налагодження на реальних чипах створює попит на доступні інструменти моделювання. Дана робота присвячена розробці кросплатформного вебсимулятора, що дозволяє виконувати та відлагоджувати код для RISC-V ядра RP2350 безпосередньо у браузері [1].

Чип RP2350 працює на частоті до 150 МГц і включає складну систему шин (AHB5 Crossbar), 520 КБ SRAM, розділеної на 10 банків, та підтримку зовнішньої Flash-пам'яті об'ємом до 4 МБ. Особливу увагу в симуляторі приділено ядру Hazard3 – тристадійному конвеєрному процесору RISC-V. Він реалізує набір інструкцій RV32I з розширеннями M, A, C, Zicsr та специфічними для Bitmanip (Zba, Zbb, Zbs) і стиснення (Zcmp) командами [2].

Кожна інструкція в базовому ISA RISC-V має ширину 32 біти та складається з кількох полів, які використовуються для декодування та виконання. Точний перелік полів, що входять до складу інструкції, залежить від її кодування, як описано в специфікації RISC-V. Ці поля зазвичай включають:

- OPCODE : код операції, що визначає тип інструкції;
- Rd : регістр призначення;
- Rs1 : регістр першого джерела;
- Rs2: другий регістр джерела;
- func3, func7: коди функцій, що уточнюють значення інструкції.

Оскільки кілька інструкцій можуть використовувати один і той самий код операції, ці поля використовуються для їх розрізнення. Наприклад, як додавання, так і віднімання використовують один і той самий базовий код операції , але відрізняються значенням func7.

У таблиці 1 приведені стиснуті бінарні операційні коди для деяких інструкції.

На рисунку 1 наведено компоненти шини мікроконтролера RP2350 для обміну та обробки інформації.

Таблиця 1 – Стиснуті інструкції операційних кодів RISC-V

Бінарний операційний код	Тип інструкції
0b1110011	Системні інструкції (наприклад, ecall , ebreak , доступ до CSR)
0b0000011	Інструкції завантаження (наприклад, lb , lh , lw)
0b0100011	Інструкції зберігання (наприклад, sb , sh , sw)
0b0010011	Арифметичні дії з буфером(наприклад, addi , xori , andi)
0b0110011	Арифметичні дії з регістрами (додавання, віднімання)
0b1100011	Інструкції розгалуження (наприклад, beq , bne , blt)
0b0101111	Операції з пам'яттю (наприклад, amoadd , amoswap)
0b0001011	Користувацькі інструкції (для розширень, визначених користувачем)

Розширення C для RISC-V вводить набір 16-бітних інструкцій, відомих як стиснуті інструкції. Це компактні кодування часто використовуваних 32-бітних інструкцій, розроблені для зменшення використання пам'яті та підвищення щільності коду. Кожна стиснута інструкція має однозначне відображення з відповідною стандартною 32-бітною інструкцією, що робить їх придатними для декомпресії під час виконання.

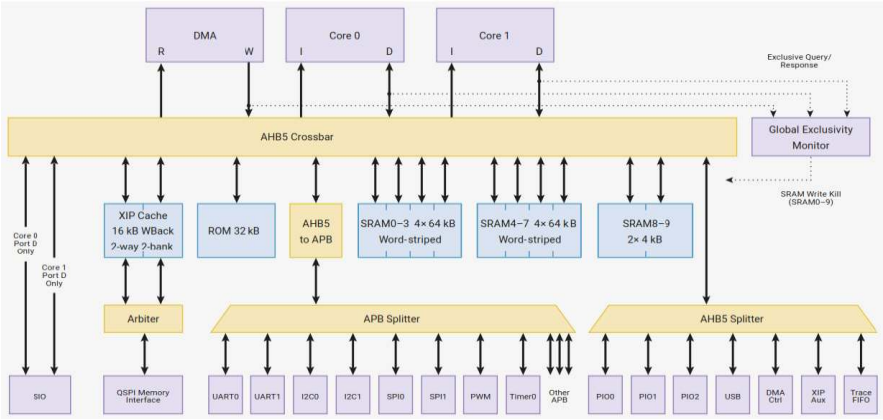


Рисунок 1 – Схема компонентів шини в RP2350

У мікроконтролері RP2350 адреса кожного периферійного пристрою поділена на три частини: базову адресу, зміщення регістра (або периферійний адресний простір) та атомарні операційні біти. Зміщення регістра, використовуючи 12-бітний простір, підтримує до 4096 регістрів (зміщення від 0x000 до 0xFFF). Біт атомарної операції дозволяє пряме маніпулювання бітами, таке

як встановлення, очищення або перемикання, в периферійних регістрах без необхідності явного блокування. У наступних підрозділах наведено загальний огляд ключових периферійних пристроїв, а детальна інформація наведена в технічному описі RP2350.

Для проекту обрано модель дискретно-подійної симуляції (Discrete-event simulation). Кожен крок симуляції відповідає одному такту процесора (~6.67 нс при 150 МГц). Це дозволяє точно моделювати роботу конвеєра, затримки шини (наприклад, 3-4 цикли для периферії APB) та механізми переривань.

Rust обрано як основну мову завдяки безпеці пам’яті, високій продуктивності та чудовій підтримці компіляції у WebAssembly. WebAssembly (Wasm) дозволяє запускати симуляцію зі швидкістю, близькою до нативної, забезпечуючи доступність інструменту через звичайну URL-адресу. Egui використано для створення інтерфейсу користувача. Це бібліотека негайного режиму (immediate mode), що спрощує відображення динамічних станів процесора в реальному часі. На рисунку 2 приведене блок схема системи.

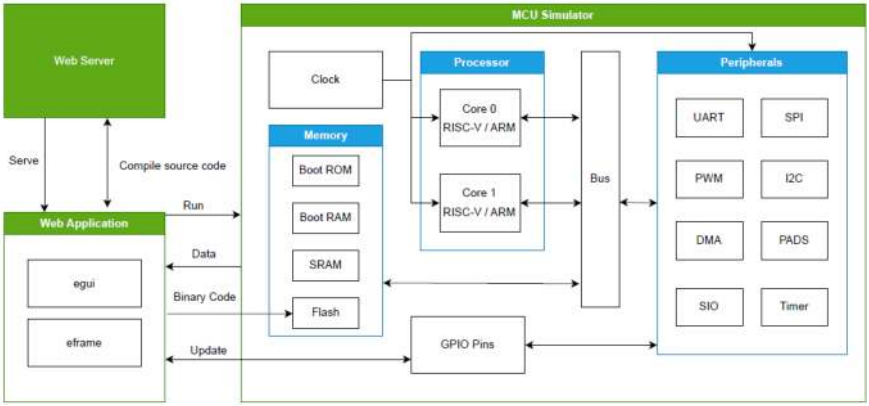


Рисунок 2 – Блок-схема системи

Структура симулятора (Backend).

Система розділена на кілька ключових модулів:

Ядро RP2350: Моделює два процесори, систему шин та контролер переривань.

Модель пам'яті: Реалізує Boot ROM, SRAM та логіку прямого читання з Flash (минаючи XIP Cache для спрощення поточної ітерації)

Обробка інструкцій: Виконання команд реалізовано через масивний оператор match у Rust, що об’єднує декодування та логіку в один прохід для оптимізації швидкості. На рисунку 3 приведені класи моделі процесора.

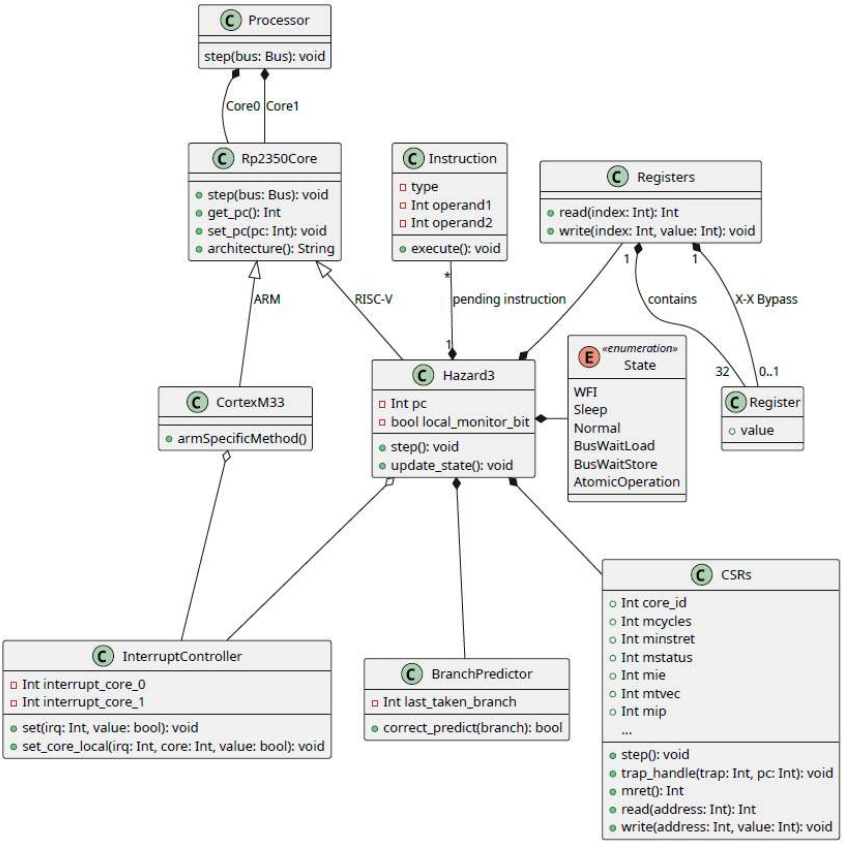


Рисунок 3 – Діаграма класів моделі процесора

Фронтенд симулятора реалізовано як односторінковий застосунок на Rust з бібліотеками eframe та egui . Користувацький інтерфейс розроблено на основі динамічної системи макета на основі плиток, що надається egui_dock.2 [3].

Після запуску завжди відображаються дві фіксовані вкладки: редактор вихідного коду та панель, що показує поточний стан контактів GPIO Raspberry Pi Pico 2. На рисунку 4 наведений макет програми.

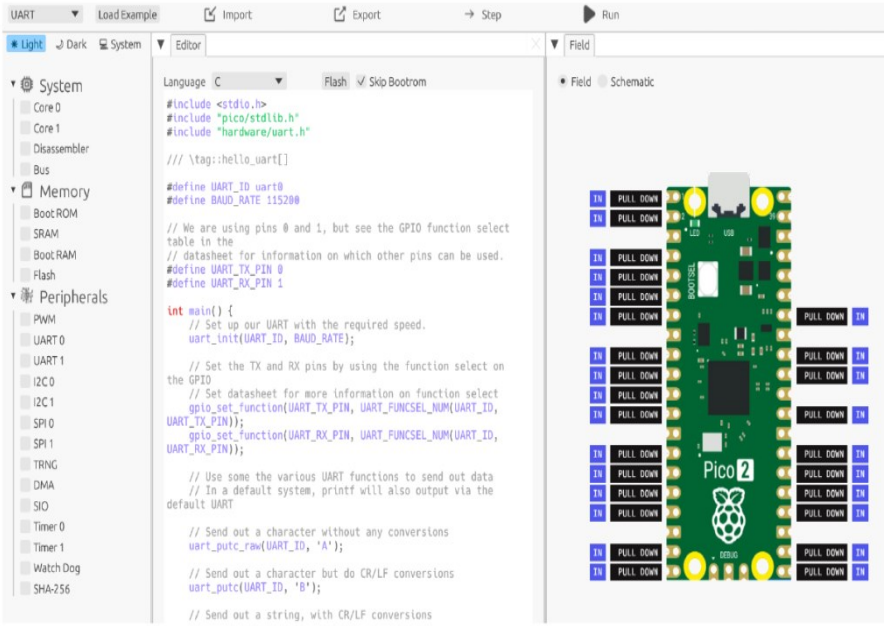


Рисунок 4 – Макет програми за замовчуванням

Ця робота мала на меті створити симулятор для процесора RISC-V на мікроконтролері Raspberry Pi Pico 2. Спочатку планувався підтримувати лише кілька базових периферійних пристроїв, але незабаром стало очевидним, що для реалізації реалістичних випадків використання їх потрібно більше. Зрештою, для досягнення сумісності з існуючим програмним забезпеченням RP2350 було реалізовано понад п'ятнадцять периферійних пристроїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Raspberry Pi Foundation. *Raspberry Pi Pico 2 datasheet: RP2350-based microcontroller board.* 2024. URL: https://www.raspberrypi.com (дата звернення: 06.04.2026).

2. Gay W. Raspberry Pi Pico 2 System-on-Chip: Architecture and Programming. *Leanpub*. 2024.

3. Modeling and Simulation of ARM Cortex-M33 in RP2350 Microcontrollers. *Journal of Embedded Systems*. 2025. Vol. 12. No. 2. P. 45–58.

УДК 004.384
Малий О. Ю.[1], Гарачук С.А.[2], Шевченко О.С.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ МОБІЛЬНОГО КОЛІСНОГО РОБОТА ПІД КЕРУВАННЯМ RASPBERRY PI

З розвитком штучного інтелекту та автоматизації зростає попит на фахівців, які розуміються на програмуванні та принципах роботи роботів. Однак впровадження робототехніки в освіту часто обмежується високою вартістю комерційних конструкторів або складністю їх налаштування.

Метою даної роботи було проектування та реалізація модульного роботизованого транспортного засобу MoRVE (Modular Robotic Vehicle for Education). Проект базується на принципах відкритості, легкої реплікації за допомогою 3D-друку та використання доступних компонентів під керуванням фреймворку ROS 2 [1-2].

У роботі проведено решеру існуючих навчальних платформ, таких як Adeept AWR, Tortoisebot та Rosbot 3. Було виявлено, що багато з них або мають закриту конструкцію, або не дозволяють легко змінювати типи датчиків та шасі (рис. 1).

Для MoRVE обрано правила Open Robotic Platform (ORP), які передбачають використання стандартної сітки отворів (20×20 мм) для кріплення модулів, що дозволяє легко масштабувати систему.

Конструкція робота повністю розроблена в середовищі Fusion 360 і адаптована для 3D-друку (матеріали PLA та PETG).

Шасі: Використано чотири Mecanum-колеса, що дозволяє роботу реалізовувати як диференціальне керування, так і всеспрямований рух (omnidirectional) (pp. 10, 28).Двигуни: 4 DC-двигуни з інкрементальними енкодерами (265 імпульсів на оберт) для забезпечення зворотного зв'язку за швидкістю.

Керування двигунами: Adafruit DC & Stepper Motor HAT на базі чіпа PCA9685 (I2C-інтерфейс), що дозволяє керувати 4 двигунами через 2 апаратні PWM-канали Raspberry Pi.

Сенсори: Ультразвукові сонари HC-SR04 для виявлення перешкод та датчик INA219 для моніторингу напруги акумулятора.

Живлення: Літієві елементи 18650 (конфігурація 2S2P, 7.4V) зі step-down конвертером для живлення мікрокомп'ютера.

Для керування обрано middleware ROS 2 (версія Jazzy) через його модульність та підтримку розподілених систем.

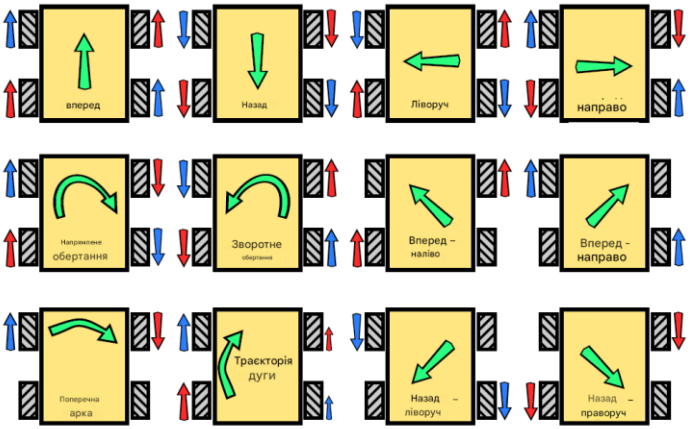


Рисунок 1 - Всеспрямоване шасі

Обчислювальний блок: Raspberry Pi 4B під керуванням Ubuntu 24.04 LTS.

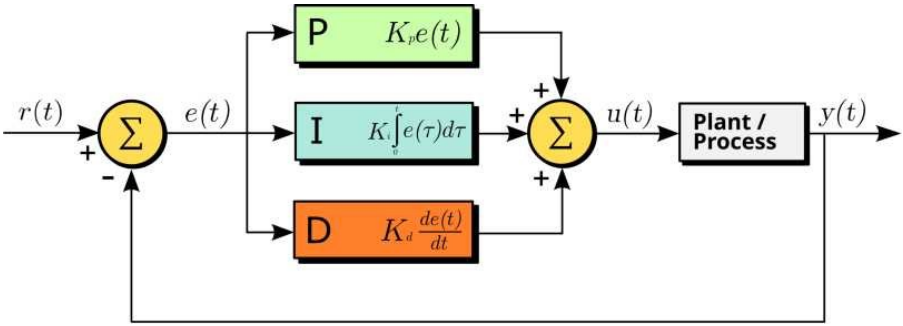


Рисунок 2 – Блок-схема замкнутої системи керування з ПІД-регулятором

Ключовою особливістю проекту є використання фреймворку ros2_control, який розділяє керування на логічні рівні:

Hardware Component: Написано плагін motor_interface на C++, який через бібліотеку WiringPi безпосередньо взаємодіє з GPIO та шиною I2C для читання енкодерів та запису команд на двигуни.

Керівні вузли: Реалізовано стандартні вузли для телеоперації (teleop_twist_keyboard) та моніторингу стану батареї.

Одним із наукових внесків роботи є реалізація власного PID-контролера — PwmPidController. Класичні PID-алгоритми некоректно працюють з деше-

вими DC-двигунами через наявність «мертвої зони» (мінімальної напруги, необхідної для старту).Розроблений контролер враховує поріг тертя:

При старті: до інтегральної складової відразу додається значення, що відповідає межі мертвої зони.

При зміні напрямку: миттєве перемикання інтегральної суми для подолання інерції.

При зупинці: обнуління складових для усунення високочастотного «писку» двигунів під напругою, якої недостатньо для руху.

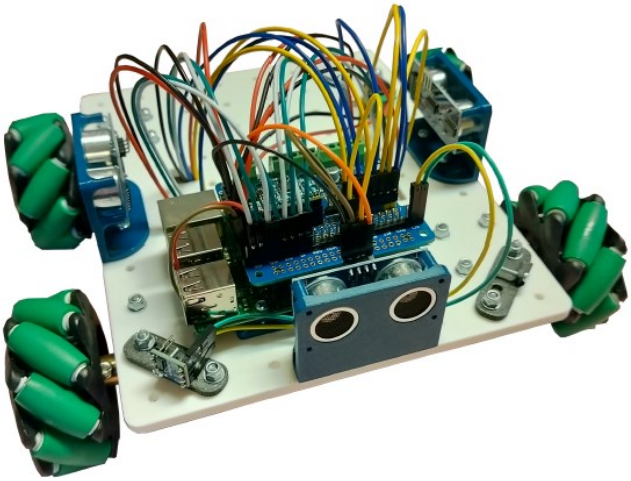


Рисунок 3 - Зовнішній вигляд робота

Аналіз системи проводився за допомогою інструменту PlotJuggler. Тести показали, що при правильному налаштуванні параметра мертвої зони (значення effort = 500) відгук системи на команду зміни швидкості стає майже миттєвим, на відміну від стандартних значень (effort = 270), де спостерігалася значна затримка через накопичення інтегральної помилки.

Також було продемонстровано роботу моделі в візуалізаторі RViz, де відображається URDF-модель робота в реальному часі.

Результатом роботи є повноцінна навчальна платформа MoRVE, яка поєднує низьку вартість компонентів з високими можливостями програмного налаштування. Завдяки використанню ROS 2 та модульної конструкції, робот може бути використаний для вивчення алгоритмів навігації, обходу перешкод та теорії автоматичного керування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bartnik N. Open Robotic Platform: Design Rules (Electronic resource). 2023. URL: https://openroboticplatform.com (дата звернення: 26.03.2026)..

2. Li Y., Ibanez-Guzman J. Lidar for Autonomous Driving: The Principles, Challenges, and Trends. *IEEE Signal Processing Magazine*. 2020. Vol. 37. No. 4. P. 50–61.

УДК 681.5:004.384

Малий О.Ю.[1], Фурманова Н.І.[1], Фарафонов О.Ю.[1]

[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ДВОКОЛІСНИМ БАЛАНСУЮЧИМ РОБОТОМ НА БАЗІ КАСКАДНИХ PID-РЕГУЛЯТОРІВ

Балансуючі роботи є специфічним типом мобільних систем, здатних утримувати вертикальне положення, що є природно нестабільним. Завдяки високій маневреності та компактності, такі роботи ефективно функціонують у обмеженому просторі. Дана робота присвячена створенню робота, керованого платформою Raspberry Pi 4B з використанням фреймворку Robot Operating System 2 (ROS2), що забезпечує модульність та масштабованість системи.

В основі функціонування лежить фізичний принцип інверсного маятника. На відміну від класичного маятника, центр мас робота знаходиться вище точки опори. Стабілізація досягається шляхом постійного переміщення коліс у напрямку нахилу.

Для керування обрано PID-регулятори, організовані у каскадну систему: Внутрішній контур: стабілізує кут нахилу, використовуючи дані з акселерометра та гіроскопа (IMU). Його виходом є сигнал ШІМ (PWM) для двигунів.

Зовнішній контур: базується на даних з енкодерів коліс. Він коригує нахил так, щоб робот повертався у вихідну позицію, запобігаючи постійному дрейфу.

Напрямний контур: компенсує різницю в опорі двигунів, забезпечуючи прямолінійний рух та точні повороти на заданий кут (рр. 34, 37).

Конструкція робота виконана за допомогою 3D-друку з матеріалу PLA.

Ключові компоненти системи включають:

- обчислювальний модуль: Raspberry Pi 4B (4GB RAM);

- сенсори: модуль MPU6050 (GY-521) для визначення орієнтації та ультразвуковий датчик HC-SR04 для виявлення перешкод;

- привід: два 12В щіткових двигуни постійного струму з енкодерами на ефекті Холла (точність 734 PPR);

- керування двигунами: драйвер Cytron MDD20A, що витримує пікові навантаження до 60А.

- живлення: Збірка 3S2P з шести Li-Ion акумуляторів 18650 (ємність 5000 мАг, напруга до 12.6В), доповнена модулем зарядки USB-C з підтримкою Power Delivery.

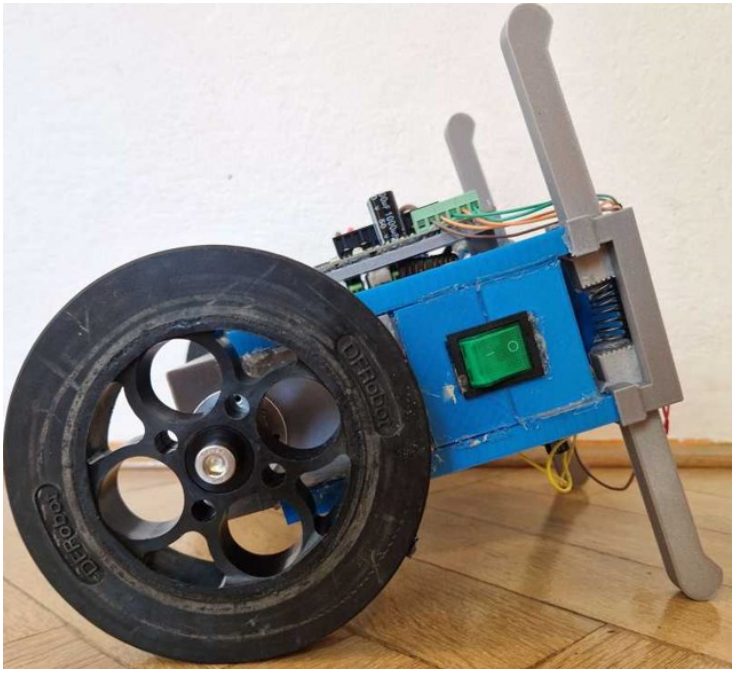


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд роботу

Використання ОС Ubuntu Server 22.04 із ядром реального часу (PREEMPT_RT) дозволило мінімізувати затримки планувальника, що критично для систем балансування. Для забезпечення стабільного зчитування даних з енкодерів на високих швидкостях, відповідному ROS2-вузлу було виділено ексклюзивне ядро процесора.

Проект розділено на чотири основні пакети:

- Sensors_pkg: зчитування та фільтрація даних (фільтр Калмана для IMU);

- Control_pkg: реалізація каскадних PID-регуляторів;

- Bluetooth_pkg: дистанційне керування через мобільний додаток Blue Dot;

- Robot_bringup: запуск та координація всіх вузлів.

В ході експериментів було виявлено "мертву зону" двигунів (до 12.2% діапазону ШІМ), що спричиняло низькочастотні осциляції (період ~2.5 с). Проте впровадження каскадного регулятора дозволило досягти стабільного балансування навіть при додатковому навантаженні 1.1 кг.

Динаміка двоколісного робота базується на спрощеній моделі інверсного маятника на візку. Основною метою є розрахунок керуючого впливу u(t), який мінімізує помилку відхилення від вертикалі.

Для опису руху системи використовуються координати кута нахилу θ та положення візка x. Узагальнене рівняння руху для кута нахилу (без урахування тертя) має вигляд:

$$\ddot{\theta} = \frac{mgl\sin\theta - f \cdot l\cos\theta}{I + ml^2}$$

де:
m – маса корпусу робота;
g – прискорення вільного падіння;
l – відстань від осі коліс до центру мас;
f – сила, що прикладена до коліс;
I – момент інерції корпусу.

Оскільки для балансування кут θ зазвичай дуже малий, використовується лінеаризація ($\sin\theta \approx \theta$, $\cos\theta \approx 1$), що дозволяє застосовувати класичні методи лінійного керування.

В роботі реалізовано цифрову форму PID-регулятора для формування сигналу ШІМ (PWM):

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t)\,dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Особливості математичної обробки в даній системі:

Пропорційна складова (P): Для підвищення чутливості при малих відхиленнях та жорсткості при великих, помилка підноситься до степеня 1.13: P=|e(t)+0.5|^1.13

Інтегральна складова (I): Щоб уникнути ефекту "насичення" (integral windup), накопичення помилки зупиняється або зменшується (множення на коефіцієнт 0.85-0.98), якщо робот змінює напрямок руху або кутова швидкість зменшується.

Диференціальна складова (D): Замість обчислення похідної від помилки кута, використовується пряме значення кутової швидкості з гіроскопа, що значно зменшує шум у сигналі керування.

Для точного маневрування на місці використовується математичний зв'язок між геометрією робота та показаннями енкодерів. Кількість імпульсів (pulses), необхідна для повороту на кут ϕ (у градусах), обчислюється за формулою:

$$pulses = \frac{1101\pi \cdot |\phi|}{842}$$

Ця формула виведена на основі:
- роздільної здатності енкодера (PPR = 734);
- радіуса колеса (r = 67 мм);
- відстані між колесами (L = 270 мм).

Наприклад, для розвороту на 90° система штучно створює помилку в 370 імпульсів між лівим та правим колесом, яку напрямний PID-регулятор компенсує, повертаючи робота.

Оскільки акселерометр чутливий до вібрацій, а гіроскоп схильний до дрейфу, фінальний кут нахилу обчислюється за допомогою фільтра Калмана, який динамічно оцінює стан системи, мінімізуючи дисперсію похибки вимірювання.

Створена система демонструє ефективність використання ROS2 та ОС реального часу для керування складними мехатронними об'єктами. Подальший розвиток проекту можливий через заміну двигунів на моделі з меншим статичним опором та інтеграцію LIDAR для точної навігації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Macenski S., Foote T., Gerkey B., Lalancette L., Woodall, W. Robot Operating System 2: Design, architecture, and uses in the wild. *Science Robotics.*2022.

2. Nomura S. Implementation of PID Control for Self-Balancing Robot with Real-Time OS. *Journal of Robotics and Mechatronics*. 2021

УДК 004.7:004.94
Малий О.Ю.[1], Поспеєва І.Є.[2], Гарачук С.А.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ СТАНУ БЕЗДРОТОВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ОБ'ЄКТІВ

У сучасних умовах бездротові мережі стали критично важливою інфраструктурою. Знання точного місцезнаходження точок доступу (АР) є необхідним для оптимізації покриття, безпекового моніторингу (виявлення неавторизованих пристроїв) та навігації всередині приміщень, де сигнал GPS є нестабільним або недоступним.

Дана робота присвячена розробці та дослідженню системи локалізації АР, яка використовує доступні дані про силу сигналу (RSSI) та географічні координати місць замірів.

Існує декілька фундаментальних підходів до визначення координат джерела сигналу:

- трілатерація: базується на знанні відстаней до об'єкта мінімум з трьох референтних точок. Відстань обчислюється через модель згасання сигналу;

- тріангуляція: використовує кути приходу сигналу (azimult, elevation). Вимагає спеціалізованого обладнання (антенних решіток);

- часові методи (ToF, TDoA): базуються на вимірюванні часу проходження сигналу. Забезпечують найвищу точність, але потребують прецизійної синхронізації годинників приймача та передавача.

Для практичної реалізації було обрано метод на основі RSSI, оскільки він не потребує спеціалізованого апаратного забезпечення і підтримується більшістю споживчих пристроїв.

В основі розрахунків лежить модель втрат на трасі (path-loss model), що описує залежність сили сигналу від відстані:

$$RSSI = A - 10n \cdot \log_{10}(d) + X$$

де:A – потужність сигналу на еталонній відстані (1 метр);

n – коефіцієнт згасання (залежить від середовища, зазвичай 2≤n≤6;

d – відстань між точкою вимірювання та АР;

X – випадкова величина, що описує шум та завади.

Для визначення координат (x0, y0) та параметрів середовища θ = [x0, y0, n, A] використовується ітеративна оптимізація Гауса-Ньютона. Вона мінімізує суму квадратів нев'язок (різниці між виміряним та модельованим сигналом):

$$r_i = RSSI_i - (-A - 10n \cdot log_{10}(\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}))$$

Для підвищення стабільності в роботі застосовано вагову матрицю W на основі функції Губера, що дозволяє зменшити вплив аномальних вимірів (outliers), спричинених багатопроменевим поширенням сигналу.

У випадках, коли даних недостатньо для збіжності нелінійної моделі, застосовується алгоритм зваженого центру тяжіння (VT):

$$\bar{\varphi} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \varphi_i \cdot \omega_i}{\sum_{i=1}^{n} \omega_i}, \quad \omega_i = 10^{\frac{S_i + 100}{10}}$$

де ωi – вага, що експоненційно зростає із посиленням сигналу Si.

Система реалізована як клієнт-серверна веб-аплікація:Backend: ASP.NET Core (C#). Використовує Entity Framework Core для роботи з базою даних PostgreSQL.

Для обробки великих масивів даних (CSV-файлів) реалізовано фоновий сервіс (BackgroundService), що працює паралельно з основним API.

Frontend: Blazor WebAssembly. Забезпечує інтерактивну візуалізацію точок на мапі за допомогою бібліотеки Leaflet.js.

Збір даних: здійснювався за допомогою застосунку WiGLE WiFi Wardriving. Параметри кожного запису включають BSSID, SSID, рівень сигналу в dBm та GPS-координати.

Перед розрахунками дані проходять декілька етапів підготовки:

Фільтрація: видалення дублікатів та записів з низькою точністю GPS (>50 м) або занадто слабким сигналом (<-85 dBm).

Кластеризація (DBSCAN): дозволяє ідентифікувати групи точок. Це критично важливо для виявлення випадків, коли точку доступу було перевезено в інше місто – система обирає найновіший за часом кластер.

Оцінка непевності: розраховується радіус помилки на основі геометричного розкладу точок (показник DOP – Dilution of Precision).

Ефективність алгоритмів перевірялася шляхом порівняння з базою даних WiGLE.net та контрольними замірами об’єктів із відомими координатами.

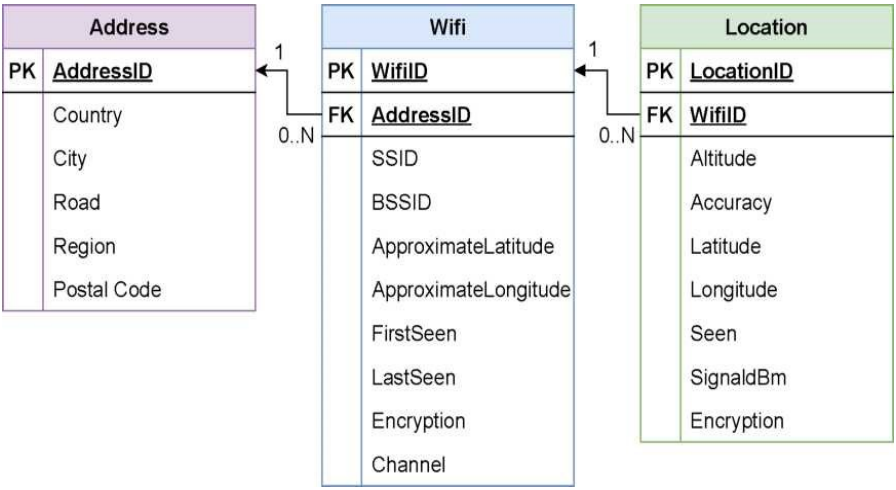


Рисунок 1 – Сутності розробленого ПЗ, їхні атрибути та зв'язки між ними

При порівнянні на однакових вхідних даних (124 точки) медіанна відхилення склала 16,78 м, що підтверджує коректність математичного апарату.

Тестування в умовах щільної міської забудови (корпуси НУ «Запорізька політехніка») продемонструвало медіанну помилку 19,47 м.

Було виявлено, що ключовим фактором точності є не кількість вимірів, а їх геометрія: рівномірне охоплення АР з різних сторін значно підвищує точність порівняно з лінійним збором даних вздовж однієї вулиці.

Розроблена система демонструє високу автономність, не потребуючи попереднього калібрування приміщень чи знання параметрів передавачів. Використання ітеративної апроксимації разом із надійними методами кластеризації дозволяє локалізувати Wi-Fi точки з точністю до 20 метрів у реальних умовах, що є достатнім для більшості прикладних завдань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Matin M. A. (ed.). Handbook of Research on Wireless Sensor Network Trends, Technologies, and Applications. IGI Global, 2016. 589 p.

2. Conti G. et al. Improving Network Monitoring and Security via Visualization. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 2016. Vol. 26. No. 6. P. 18–25.

УДК 621.865.8:681.5
Миронова Н.О.[1], Шаптала С.В.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРОБКА НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНОГО ПРОТОТИПУ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА

Сучасний розвиток робототехніки, мехатроніки та автоматизованих систем керування пов’язаний із переходом до кіберфізичних підходів, у межах яких технічний об’єкт розглядається разом із його цифровим представленням. Для роботизованих маніпуляторів такий підхід є перспективним, оскільки дає змогу поєднати проєктування, налагодження, аналіз режимів роботи та подальшу оптимізацію конструкції в межах єдиного інформаційного середовища. Метою роботи є розробка навчально-дослідного прототипу робота-маніпулятора (рис. 1) як фізичної основи для подальшої побудови цифрового двійника.

У межах роботи сформовано базову структуру маніпулятора , обґрунтовано вибір виконавчих приводів і визначено апаратну платформу керування. Розроблений прототип має чотири ступені рухомості, з яких три забезпечують переміщення ланок маніпулятора, а одна відповідає за роботу захвату. Для реалізації цих рухів використано п’ять моторних каналів керування. Найбільш навантажену вісь реалізовано двома синхронізованими кроковими двигунами, що підвищує тягові можливості приводу та надійність роботи відповідного вузла.

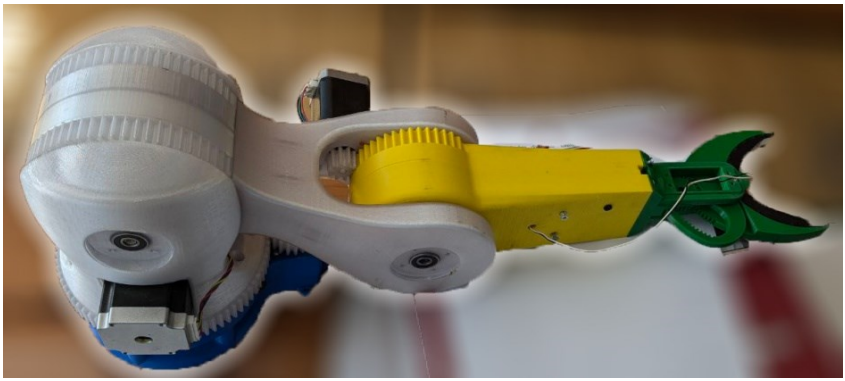


Рисунок 1 – Загальний вигляд експериментального прототипу робота-маніпулятора

Апаратну основу прототипу складає мікроконтролерна платформа Wemos D1 R32. Для керування двома кроковими двигунами NEMA23 використано драйвери TB6560, а для двох крокових двигунів NEMA17 – драйвери DRV8825. Привід захвату реалізовано на базі сервопривода Tower Pro MG995. Запропонована конфігурація забезпечує узгодження приводів різної потужності з навантаженням окремих вузлів маніпулятора та механізму захвату.

Функціонування системи базується на формуванні керуючих сигналів мікроконтролером і їх подальшій передачі на драйвери виконавчих двигунів. У цій архітектурі (рис. 2) розділено логічну частину керування та силову частину живлення приводів, що спрощує подальшу модернізацію системи та створює основу для підключення додаткових елементів, зокрема кінцевих вимикачів, датчиків нульового положення та інших засобів збору даних про стан маніпулятора.

Розроблений прототип робота-маніпулятора формує фізичну основу для подальшої побудови цифрового двійника (рис. 2). Наступний етап дослідження пов’язаний із формуванням віртуальної моделі, інтеграцією засобів збору даних та забезпеченням узгодженої взаємодії між фізичною і цифровою складовими системи.

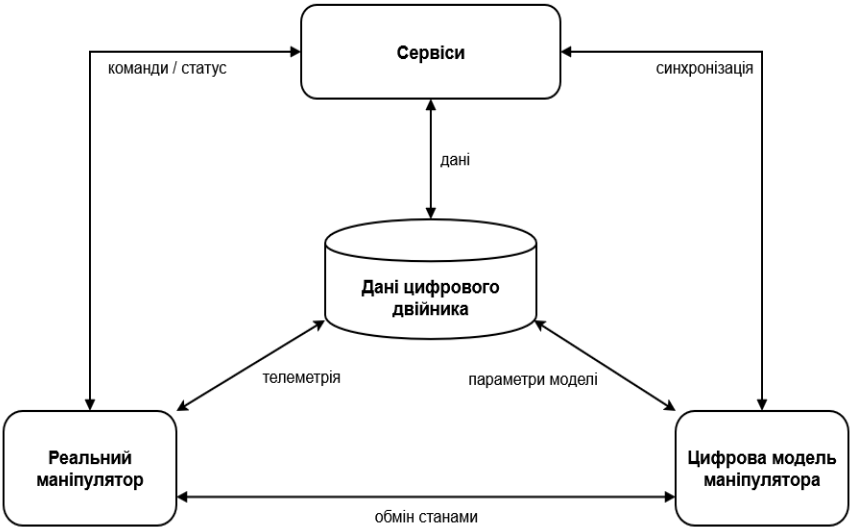


Рисунок 2 – Концептуальна схема побудови цифрового двійника робота-маніпулятора

УДК 681.5:004.9
Малий О.Ю.[1], Фурманова Н.І.[1], Бордюг Д.А.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. БК-612 НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ 3Д ДРУКУ

Технологія 3D-друку (адитивне виробництво) стала ключовим інструментом у прототипуванні та промисловості. Однак однією з головних проблем залишається стабільність якості друку. Помилки, такі як відшарування об'єкта, утворення «спагеті» або надмірне ниткоутворення (stringing), призводять до значних втрат матеріалу та часу. Оскільки процес друку може тривати кілька днів, безперервний людський контроль є неможливим.

Метою роботи є розробка системи автоматизованого моніторингу на основі комп'ютерного бачення, яка здатна в реальному часі виявляти дефекти друку та вживати відповідних заходів (сповіщення користувача або зупинка друку).

В роботі виділено основні типи візуальних дефектів:

- спагеті (Spaghetti) - друк «у повітрі» через відшарування моделі від платформи;
- ниткоутворення (Stringing) - утворення тонких волокон пластику між частинами моделі;
- Overextrusion/Underextrusion - надмірне або недостатнє подавання пластику.

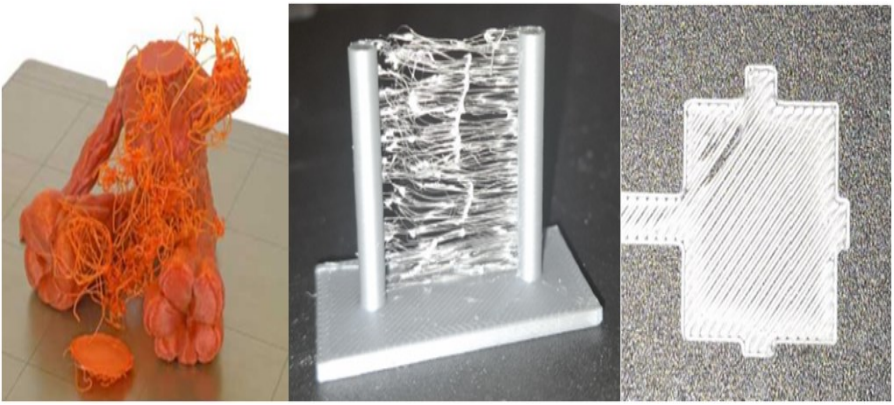


Рисунок 1 – Приклади браку 3Д друку

Проблеми першого шару: Погана адгезія або неправильна висота сопла (Z-offset).

Проаналізовано комерційні та open-source рішення:

- Obico (Spaghetti Detective): Використовує хмарні обчислення, що створює питання конфіденційності;
- OctoEverywhere (Gadget): Просте в інтеграції, але часто надає обмежену інформацію про тип помилки;
- CAXTON: Науковий проект з використанням нейромереж з кількома «головами» для корекції параметрів у реальному часі.

Запропонована система складається з трьох основних модулів:

- плагін для OctoPrint - основне середовище інтеграції з принтером;
- модуль комп'ютерного бачення - окремий процес для аналізу зображень;
- веб-додаток - інтерфейс для моніторингу декількох принтерів одночасно.

Для забезпечення стабільності друку обробка зображень винесена в окремий процес (multiprocessing). Це дозволяє уникнути впливу Global Interpreter Lock (GIL) у Python, який при багатопотоковості міг спричиняти мікрозатримки у русі друкуючої головки, що негативно впливало на якість виробу.

Створено комбінований набір даних, що включає:

- власні знімки з лабораторій кафедри ІТЕЗ;
- дані з відкритих джерел (Kaggle, Roboflow). Знімки з профільних форумів (Reddit).

Загалом набір містить сотні анотованих зображень для класів Spaghetti, Stringing, Over/Under-extrusion та PrintOk. Для прискорення анотування використано модель SAM (Segment Anything Model) від Meta.

Порівнювалися моделі сімейств YOLOv11 та YOLOv12. Для фінальної реалізації обрано YOLOv11s через оптимальний баланс між точністю та швидкістю роботи на обмеженому за потужністю обладнанні.

Таблиця 1 – Порівняння окремих моделей з точки зору точності валідації та тестування та часу обробки одного знімку

Модель	Валідація	Тестування	Час обробки
Yolo11n	60%	48%	101 мс
Yolo11s	67%	58%	252 мс
Yolo11m	61%	56%	701 мс
Yolo11n-seg	63%	49%	135 мс
Yolo11s-seg	61%	49%	327 мс
Yolo12n	58%	49%	151 мс
Yolo12s	47%	47%	359 мс

Тренування проводилося в хмарі (Kaggle GPU) з використанням технік Transfer Learning та аугментації даних (зміна яскравості, кропінг, додавання шуму для імітації низької якості веб-камер).

Framework: Для інференсу обрано MNN (Mobile Neural Network) від Alibaba, що показав кращу стабільність на Raspberry Pi 5 порівняно з іншими фреймворками.

Таблиця 2 – Результати порівняння фреймворків на основі часу, необхідного для обробки одного кадру, та максимально досяжної частоти кадрів (FPS)

Рамка	Час обробки (мс/зображення)	Кадрів у секунду
TorchScript	1172,88	0,85
PyTorch	1108,43	0,9
PaddlePaddle	1086,38	0,92
ONNX	454,07	2.2
MHH	253,26	3.95
NCNN	185,93	5.38
OpenWINO	185,29	5.4

Зв'язок: Результати аналізу передаються через спільну чергу. Якщо система фіксує помилку у двох послідовних кадрах, спрацьовує логіка сповіщення.

Сповіщення: Telegram (через чат-ботів). Повідомлення містить тип помилки, впевненість моделі та актуальний знімок.

Розроблено за допомогою Next.js (Frontend) та Fastify (Backend). Система підтримує багаторівневу авторизацію (Creator, Admin, User) та дозволяє централізовано керувати налаштуваннями детекції для всього парку 3D-принтерів.

Проведено аналіз розробленого плагіна з системами Obico та OctoEverywhere на принтері Creality Ender 3 V3.

Детекція «шпагеті»: Система виявляла помилку на 1-й чи 2-й хвилині з впевненістю понад 70%, що на рівні або швидше за комерційні аналоги.

Детекція ниткоутворення: Найкращі результати при боковому ракурсі камери. При фронтальному ракурсі точність падає через часткове перекриття моделі друкуючою головкою.

Фальшиві спрацювання: При тестуванні на чистому друці зафіксовано 5 фальшивих спрацювань за 10 годин роботи (переважно клас stringing). Це вказує на потребу подальшої оптимізації порогів впевненості.

Розроблена система підтвердила можливість ефективного виявлення помилок 3D-друку в реальному часі на базі доступного обладнання

(Raspberry Pi 5). Використання сучасних моделей YOLO та оптимізованих фреймворків дозволило створити автономне рішення, яке не потребує передачі даних у хмару, забезпечуючи приватність користувача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ISO/ASTM 52902:2019. Additive manufacturing – Test artifacts – Geometric capability assessment of additive manufacturing systems. (офіційне издання). Geneva : ISO/ASTM International, 2019. 42 p.

2. Baumann F., Roller D. Vision based error detection for 3D printing processes. *MATEC Web of Conferences*. 2017. Vol. 108. Art. 06006. DOI: doi.org.

3. Tlegenov Y., Hong G. S., Pang C. K. Investigation of nozzle clogging in FDM 3D printing through motor current monitoring. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2024. Vol. 85.

УДК 614.84:681.5

Малий О. Ю.[1], Пироженко О.О.[2], Кафтан Д.В.[3]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»
[3] студ. гр. БК-612 НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРОБКА МОДУЛЯ СИСТЕМИ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ З ФУНКЦІЄЮ АВТОМАТИЧНОГО СПОВІЩЕННЯ ПРО ВИНИКНЕННЯ ДЖЕРЕЛА ВОГНЮ

Захист людського життя та майна від пожеж є критично важливим завданням. Традиційні точкові детектори диму мають суттєві обмеження: вони вимагають фізичного контакту частинок диму з сенсором, що робить їх неефективними у великих відкритих просторах (ангари, атріуми) та схильними до помилкових спрацювань через пил або пару.

Метою роботи є розробка та імплементація відеодетектора, який використовує стандартну цифрову камеру для виявлення ознак відкритого вогню на ранніх стадіях, аналізуючи візуальні характеристики полум'я.

Для автоматизованої детекції вогонь розглядається як об’єкт із набором специфічних статичних та динамічних ознак:

Колірна модель: Полум’я переважно має спектр від червоного до жовтого. Вибір правильної колірної моделі (RGB, HSV, YCbCr) є базовим кроком для фільтрації пікселів.

Мерехтіння (Flickering): Вогонь постійно змінює свою форму та яскравість. Це динамічна ознака, яку можна зафіксувати через аналіз руху пікселів.

Сатурація (Насиченість): Осередки інтенсивного горіння часто виглядають як абсолютно білі плями (R=G=B=255) через обмеження динамічного діапазону камер.

Пульсація інтенсивності: Яскравість полум'я коливається з характерною частотою 1–10 Гц. Ця ознака дозволяє відрізнити вогонь від статичних оранжевих об'єктів.

Просторова впорядкованість: Структура вогню часто складається з вкладених кілець: біле ядро, жовта середина та червоні краї.

В роботі доведено, що модель HSV (Hue, Saturation, Value) є більш ефективною для детекції вогню, ніж RGB. У просторі HSV легше інтуїтивно визначити межі для відтінків полум'я: тон (Hue) у межах 0–60°, висока світлість (Value) та середня насиченість (Saturation).

Для оптимізації обчислень використано підхід поділу кадру на тайли (длаждиці) розміром 32x32 пікселі. Це дозволяє аналізувати кожну область окремо, застосовуючи правила детекції локально. Альтернативний метод сегментації на основі контурів руху виявився менш надійним у випадках, коли вогонь зливається з іншими рухомими об'єктами.

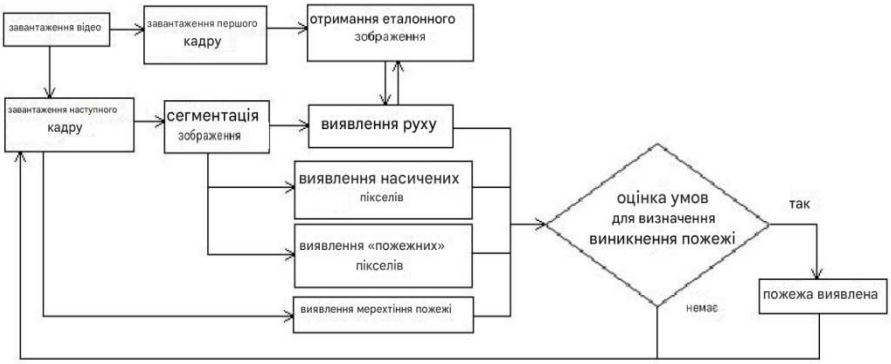


Рисунок 1 – Алгоритмічна структура системи

Система побудована на каскаді правил. Сцена вважається пожежонебезпечною, якщо певний сегмент кадру одночасно задовольняє наступні умови:

Детекція руху: Порівняння поточного кадру з динамічним референтним кадром. Якщо різниця інтенсивності пікселів перевищує поріг – зафіксовано рух.

Фільтрація за кольором: Підрахунок відсотка пікселів у сегменті, що відповідають моделі HSV вогню.

Пошук сатурованих точок: Виявлення білих центрів полум'я.

Аналіз частоти (FFT): Застосування швидкого перетворення Фур'є до історії інтенсивності сегмента. Якщо домінуюча частота лежить у діапазоні 1–10 Гц, це підтверджує пульсацію полум'я.

Програмна частина реалізована на мові C++ з використанням бібліотеки комп'ютерного бачення OpenCV. Для уникнення миттєвих помилкових спрацювань додано часовий фільтр: тривога («HORI») активується лише якщо вогонь детектується у трьох послідовних кадрах.

Проведено порівняння швидкості детекції системи та людини. У більшості випадків система реагує лише на сотні мілісекунд пізніше за людське око, а за умов низького контрасту (наприклад, вогонь на вулиці вдень) детектор може спрацювати навіть швидше за людину.

Таблиця 1 – Порівняння швидкості реакції людини та детектора (час вказаний у мілісекундах)

Відео	Детектор		Людина
	Перше виявлення	Тривога	
1	11760	11920	11480
2	7680	7760	7600
3	4920	5640	5000
4	200	760	240
5	7400	9040	13520

Фальшиві детекції: Викликаються відблисками світла від блискучих поверхонь (наприклад, пластиковий пакет, освітлений ліхтариком) або рухомими об'єктами, що мають колір полум'я (оранжевий одяг).

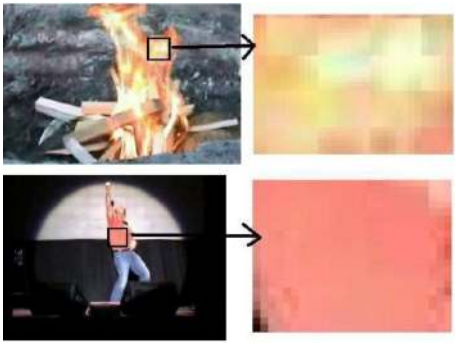


Рисунок 2 – Порівняння просторової варіації кольору в об’єкті, що охоплює вогонь, та об’єкті, що не охоплює вогонь

Невиявлення вогню: Трапляється, якщо ядро вогню (сатуровані пікселі) закрите перешкодою. У таких випадках система бачить лише колір, але не підтверджує всі правила каскаду.

Розроблений відеодетектор демонструє високу ефективність у виявленні відкритого полум'я на ранніх стадіях. Використання частотного аналізу та моделі HSV дозволяє значно знизити відсоток помилок у порівнянні з простими колірними фільтрами. Перспективою розвитку є впровадження просторового вельвет аналізу (wavelet analysis) та аналізу структури полум'я для ще більшої надійності в складних умовах освітлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sharma S. et al. Real-time fire detection using deep learning models. *Journal of Real-Time Image Processing*. 2024. Vol. 21. P. 110–125.

2. Muhammad K. et al. Fire and Smoke Detection in Video Sequences based on Spatial-Temporal Analysis. *IEEE Access*. 2025. Vol. 13. P. 4500–4515.

УДК 621.396

Щукін Д.В.[1], Федишен Д.В.[2]

[1] викл. ВСП «Запорізький фаховий коледж комп'ютерних технологій НУ «Запорізька політехніка»

[2] студ. гр. ТК22-1 ВСП «Запорізький фаховий коледж комп'ютерних технологій НУ «Запорізька політехніка»

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНО-ВИЗНАЧЕНИХ РАДІОСИСТЕМ (SDR) У СУЧАСНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

Стрімкий розвиток телекомунікаційних технологій, зокрема мобільних мереж п’ятого покоління (5G), Інтернету речей (IoT) та бездротових сенсорних мереж, зумовлює потребу у гнучких, масштабованих та економічно ефективних рішеннях для обробки радіосигналів. Одним із таких рішень є програмно-визначені радіосистеми (Software Defined Radio, SDR), які дозволяють реалізувати більшість функцій традиційного радіообладнання за допомогою програмного забезпечення.

Традиційні апаратні радіосистеми мають обмежену гнучкість, оскільки їх функціональність жорстко визначена на рівні апаратного забезпечення. Натомість SDR забезпечують можливість динамічної зміни параметрів роботи системи, включаючи частотний діапазон, тип модуляції та протоколи пе-

редачі даних. Це досягається завдяки використанню універсальних апаратних платформ у поєднанні з програмними алгоритмами обробки сигналів [1].

Експериментальні дослідження демонструють, що використання SDR дозволяє підвищити ефективність спектрального використання та зменшити затримки передачі даних у порівнянні з класичними радіосистемами. Водночас, серед недоліків SDR варто відзначити підвищені вимоги до обчислювальних ресурсів та енергоспоживання, що може бути критичним для мобільних або автономних пристроїв [2].

У підсумку, програмно-визначені радіосистеми є перспективним напрямом розвитку телекомунікацій, який забезпечує високу гнучкість, масштабованість та адаптивність мереж. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оптимізацію алгоритмів обробки сигналів та зниження енергоспоживання SDR-платформ, а також інтеграцію з технологіями штучного інтелекту для підвищення ефективності управління мережею.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mitola, J. Software Radio Architecture: Object-Oriented Approaches to Wireless Systems. Wiley, 2000. DOI: https://doi.org/10.1002/0471221249

2. Haykin, S. Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*.2005. Vol. 23. No. 2. P. 201–220. DOI: https://doi.org/10.1109/JSAC.2004.839380

УДК 621.396:004.4

Щукін Д.В.[1], Удовцев Д.Б.[2]

[1] викл. ВСП «Запорізький фаховий коледж комп'ютерних технологій НУ «Запорізька політехніка»

[2] студ. гр. ТК22-1 ВСП «Запорізький фаховий коледж комп'ютерних технологій НУ «Запорізька політехніка»

НЕДОЛІКИ ТА ОБМЕЖЕННЯ SDR

Програмно-визначуване радіо (SDR, Software Defined Radio) є сучасною технологією, що дозволяє реалізувати більшість функцій радіосистеми за допомогою програмного забезпечення. Завдяки гнучкості, універсальності та можливості швидкої модифікації параметрів, SDR широко застосовується в телекомунікаціях, військових системах, радіомоніторингу та наукових дослідженнях. Проте, незважаючи на значні переваги, ця технологія має ряд недоліків і обмежень, які впливають на її ефективність та сферу застосування [1].

Одним із основних недоліків SDR є висока вимогливість до обчислювальних ресурсів. Обробка сигналів у реальному часі потребує потужних процесорів або спеціалізованих обчислювальних пристроїв, таких як FPGA чи GPU. Це призводить до збільшення вартості системи та енергоспоживання, що є критичним фактором для мобільних або автономних пристроїв.

Ще одним важливим обмеженням є затримки обробки сигналу. У традиційних апаратних радіосистемах більшість операцій виконується апаратно, що забезпечує мінімальні затримки. У SDR значна частина обробки виконується програмно, що може призводити до додаткових затримок і зниження продуктивності, особливо в системах реального часу.

Також варто відзначити обмеження, пов'язані з аналогово-цифровими перетворювачами (АЦП) та цифро-аналоговими перетворювачами (ЦАП). Якість роботи SDR значною мірою залежить від їх характеристик, таких як розрядність, частота дискретизації та динамічний діапазон. Недостатні параметри цих компонентів можуть призводити до спотворення сигналу та втрати інформації [2].

Крім того, SDR системи є більш складними у розробці та налаштуванні порівняно з традиційними радіопристроями. Для їх ефективного використання необхідні знання у сфері цифрової обробки сигналів, програмування та радіотехніки. Це підвищує вимоги до кваліфікації спеціалістів.

Не менш важливим аспектом є питання безпеки. Оскільки функціональність SDR визначається програмним забезпеченням, існує ризик несанкціонованого доступу або зміни параметрів роботи системи, що може призвести до порушення її функціонування або використання в небажаних цілях.

Підсумовуючи, можна зазначити, що програмно-визначуване радіо є перспективною технологією, яка відкриває широкі можливості для розвитку сучасних систем зв'язку. Однак існуючі недоліки, такі як висока ресурсомісткість, затримки обробки, обмеження апаратних компонентів та складність реалізації, потребують подальших досліджень і вдосконалення. У майбутньому очікується розвиток більш ефективних алгоритмів обробки сигналів та апаратних рішень, що дозволить мінімізувати ці обмеження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mitola, J. Software Radio Architecture: Object-Oriented Approaches to Wireless Systems Engineering. Wiley: 2000. DOI: https://doi.org/10.1002/0471221241.

2. Haykin, S. Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 2005. Vol. 23. No. 2. P.201–220. DOI: https://doi.org/10.1109/JSAC.2004.839380.

УДК 004.8:615.1
Щукін О.В.[1], Могильна М.Є.[2]
[1] зав. нав. лаб. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. ПМ23-1 ВСП «Запорізький фаховий коледж комп'ютерних технологій НУ «Запорізька політехніка»

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ ТЕРМІНАЛ З РОЗПІЗНАВАННЯМ РУКОПИСНИХ РЕЦЕПТІВ НА БАЗІ ШІ

Попри розвиток системи eHealth, значна частина рецептів залишається в паперовому вигляді, що призводить до помилок у 25% випадків через нерозбірливий почерк. Для розв'язання цієї проблеми розроблено інтелектуальний термінал, що забезпечує доступ до ліків 24/7 та цифрову інклюзивність. Система базується на мультиспектральних сканерах (УФ/ІЧ) для перевірки автентичності бланків та гібридній ШІ-моделі.

Технічна архітектура інтелектуального термінала (рис. 1) базується на комплексному підході, що поєднує передове апаратне забезпечення з гібридною моделлю штучного інтелекту. Для первинного збору даних та безпеки використовуються мультиспектральні сканери (УФ/ІЧ діапазони), які автентифікують паперові бланки, а також технологія FaceID.

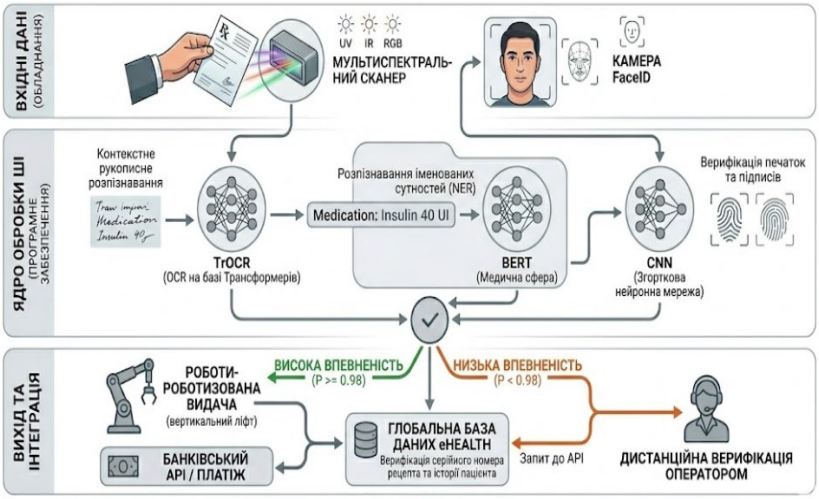


Рисунок 1 - Архітектура інтелектуального фармацевтичного термінала з використанням гібридних ШІ-моделей

Для оцінки справжності рецепта застосовується теорема Байєса, яка обчислює апостеріорну ймовірність на основі даних сканування. Впроваджено жорсткий параметр впевненості τ 0.98 якщо показник нижчий, система залучає дистанційного оператора. Безпека персональних даних гарантується використанням квантованих моделей нейромереж безпосередньо на апаратному забезпеченні термінала (On-device AI). Такий підхід відповідає протоколам GDPR, нівелює ризики перехоплення інформації та забезпечує збереження медичної таємниці.

Особлива увага приділена захисту конфіденційної інформації через використання квантованих моделей нейромереж, що функціонують безпосередньо на апаратному забезпеченні термінала. Це дає змогу обробляти персональні дані та зображення рецептів локально, повністю виключаючи їх передачу на зовнішні хмарні сервери. Така архітектура нівелює ризики перехоплення даних і цілком відповідає міжнародним протоколам безпеки (GDPR) та вимогам щодо захисту медичної таємниці. У таблиці 1 приведені проблеми та механізми для захисту даних у системі обробки.

Таблиця 1 - Опис механізмів відмовостійкості та захисту даних у системі обробки рецептів

Проблема	Шлях вирішення (ШІ/Технічний)
Жахливий почерк (Unreadable)	Використання Confidence Score. Якщо ШІ впевнений менш ніж на 85%, рецепт миттєво надсилається онлайн-оператору.
Підробка паперу	Сканування в УФ-світлі для перевірки флуоресцентних міток та перевірка серійного номера рецепта в базі.
Захист даних	Впровадження On-device AI (обробка зображення на самому терміналі без передачі фото в хмару) згідно з нормами GDPR.
Закінчення ліків	ШІ-прогнозування попиту на основі локальної статистики для своєчасного поповнення запасів.

Впровадження термінала дозволяє скоротити час обслуговування з 7 хвилин до 60 секунд за умови точності розпізнавання рукописних даних на рівні 95–98%. Автоматизація процесів здатна знизити витрати на фонд оплати праці фармацевтів до 60%. Система також передбачає механізми адаптації до складних умов: при критично нечитабельному почерку (впевненість <85%) або підозрі на підробку залучається онлайн-верифікація, а інтелектуальне прогнозування попиту забезпечує своєчасне поповнення запасів ліків.

УДК 621.396
Щукін Д.В.[1], Фурман В.С.[2]
[1] викл. ВСП «Запорізький фаховий коледж комп'ютерних технологій НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. ТК22-1 ВСП «Запорізький фаховий коледж комп'ютерних технологій НУ «Запорізька політехніка»

МЕТОДИ НАВЧАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Стрімкий розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та авіаційних технологій поставив перед системами безпеки повітряного простору нові виклики. Автоматичне розпізнавання та класифікація летальних апаратів у режимі реального часу є критично важливим завданням як для цивільних, так і для оборонних застосувань. Традиційні методи виявлення, що базуються на радарних сигнатурах або ручному аналізі зображень, виявляються недостатньо ефективними в умовах складної обстановки, різноманітності типів об'єктів та необхідності швидкої обробки інформації. Нейронні мережі, зокрема згорткові (CNN) та трансформерні архітектури, пропонують принципово новий підхід до вирішення цієї задачі завдяки здатності навчатися виділяти інформативні ознаки безпосередньо з даних. Незважаючи на значний прогрес у сфері комп'ютерного зору [1, 2], питання оптимальних методів навчання нейронних мереж для розпізнавання саме летальних апаратів залишається актуальним і потребує подальшого дослідження.

У даній роботі досліджуються методи навчання нейронних мереж для задачі розпізнавання летальних апаратів за даними оптичних камер та інфрачервоних сенсорів. Розглядаються підходи на основі навчання з учителем із використанням розмічених наборів даних, які містять зображення різних типів літаків, вертольотів та БПЛА у різних умовах освітлення та ракурсах. Для підвищення якості розпізнавання застосовується техніка трансферного навчання на основі попередньо навчених моделей (EfficientNet, YOLOv8), що дозволяє суттєво скоротити потреби в обсязі навчальних даних та обчислювальних ресурсах.

Отримані експериментальні результати свідчать про те, що запропонований підхід забезпечує точність класифікації на рівні 94,7% на тестовій вибірці, що на 11% перевищує показники класичних методів на основі алгоритмів комп'ютерного зору без глибокого навчання. Особливо помітне покращення спостерігається для малорозмірних БПЛА та об'єктів зі складним фоном. Модель демонструє стабільну продуктивність при обробці відеопотоку в реальному часі на вбудованих обчислювальних платформах, що відкриває

можливості для практичного впровадження в бортових системах спостереження.

Таким чином, застосування методів глибокого навчання з трансферним підходом та аугментацією даних є ефективним рішенням для задачі розпізнавання летальних апаратів. Запропонована система здатна класифікувати об'єкти за типом та моделлю в умовах реального часу, забезпечуючи надійну роботу в різноманітних операційних сценаріях. Перспективним напрямом подальших досліджень є інтеграція мультимодальних сенсорних даних - поєднання оптичного діапазону з радіолокаційною та акустичною інформацією - для підвищення точності виявлення в умовах обмеженої видимості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Redmon J., Farhadi A. (2018) YOLOv3: An Incremental Improvement. arXiv:1804.02767. 2018. URL: https://arxiv.org/abs/1804.02767 (дата звернення: 06.04.2026)

2. Tan M., Le Q. V. EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks. *Proceedings of ICML* 2019. 2019. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.1905.11946

УДК 004.89:004.912:623.4.08

Щукін О.В.[1], Могильна М.Є.[2], Мацкевич О.В.[3]
[1] зав. нав. лаб. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. ПМ23-1 ВСП «Запорізький фаховий коледж комп'ютерних технологій НУ «Запорізька політехніка»
[3] студ. гр. ПМ22-1 ВСП «Запорізький фаховий коледж комп'ютерних технологій НУ «Запорізька політехніка»

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПРЕДИКТИВНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ВЕКТОРІВ ЗАГРОЗ ІЗ ФУНКЦІЄЮ ЗВУКОВОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ ВИСОКОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ

У сучасній архітектурі систем оповіщення спостерігається критична проблема - втома від сповіщень. Через високу щільність повітряних загроз та превентивний характер загальнонаціональних систем, користувачі отримують надмірну кількість нецільові сигнали, що призводить до ігнорування протоколів безпеки. З точки зору UX, це створює бар'єр між критичною інформацією та реакцією суб'єкта. Потрібна інтелектуальна прослойка, яка здатна диференціювати загальний стан тривоги від локального інциденту, базуючись на аналізі вектору цілі в реальному часі.

Метою проєкту є розробка автоматизованої системи предиктивної візуалізації векторів загроз із функцією звукової сигналізації високої інтенсивності. Система виконує роль інтелектуального шлюзу, який фільтрує вхідний потік неструктурованих даних та конвертує їх у структуровані сповіщення з високим пріоритетом. Основний фокус зміщується з пасивного моніторингу на активне сповіщення про загрозу з високою ймовірністю ураження конкретного сектора. Це дозволяє оптимізувати час прийняття рішення для кінцевого користувача, забезпечуючи максимальний рівень персоналізованої безпеки.

Для обробки вхідних повідомлень використовується стек технологій Natural Language Processing (NLP). Оскільки адміни моніторингових каналів використовують природну мову з високим ступенем варіативності (сленг, абревіатури, географічні назви без суворого форматування), система інтегрує LLM-моделі для виокремлення об'єктів. ШІ ідентифікує тип об'єкта, його поточні координати та динаміку руху, що дозволяє алгоритму побудувати ймовірну траєкторію. Порівняння методів обробки приведено у таблиці 1.

Таблиця 1 - Аналіз ефективності

Функція	Класичний алгоритм	Інтелектуальний ШІ-модуль
Розпізнавання тексту	Лише жорстко задані ключові слова	Контекстний аналіз (сленг, помилки)
Аналіз напрямку	Потребує точних назв міст	Розуміє орієнтири («курс на Пн-Зх від...»)
Хибні спрацьовування	Високі (через згадки інших міст у тексті)	Низькі (розуміє логіку польоту)
Швидкість обробки	Миттєво	Залежить від затримки API (мінімізується)

Технічна реалізація базується на принципах Geofencing. Користувач визначає «радіус інтересу», і система активує тригери лише при входженні об'єкта в цей віртуальний периметр. Програмна частина бота використовує API для подачі кастомних звукових сигналів, які мають вищий пріоритет у системі сповіщень смартфона, ніж стандартні push-повідомлення. Це гарантує доставку сигналу навіть в умовах активованого режиму «Не турбувати». Кожне таке сповіщення супроводжується верифікованим джерелом для підтвердження цілісності даних. Приклад роботи наведений на рисунку 1.

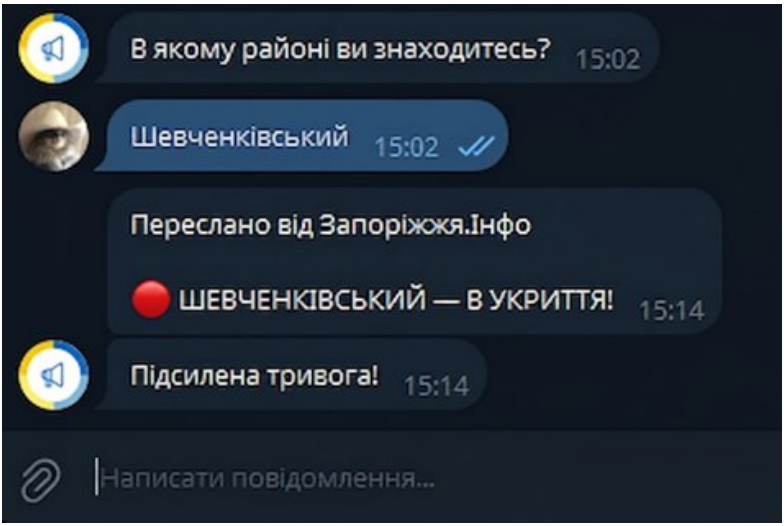


Рисунок 1 – Демонстрація роботи Telegram-бота

Архітектура системи побудована за подієво-орієнтованою моделлю. На вхід надходять потоки повідомлень, які проходять через стадію нормалізації, після чого потрапляють у блок ШІ-аналізу. Система працює з низькою затримкою, що критично для обробки швидкісних цілей. Весь процес логується, що дозволяє в майбутньому донавчати модель на специфічних патернах руху об'єктів. Для забезпечення предиктивності система розраховує стан активації тригера A як функцію від поточної відстані до об'єкта та його вектору швидкості. Умова спрацювання тривоги описується наступним виразом:

$$A\begin{cases}1, \text{якщо } (||P_{obj} - P_{home}|| \leq R) \wedge (\cos\theta > 0) \\ 0, \text{в інших випадках}\end{cases}$$

де:

P_{obj} - вектор поточних координат цілі, ідентифікований ШІ-модулем;

P_{home} - координати «радіуса інтересу» (Home Location), задані користувачем;

R - встановлений радіус геофенсингу;

$\cos\theta$ - косинус кута між вектором руху об'єкта та вектором напрямку на користувача.

У таблиці 2 приведена зміна логіки оповіщення в залежності від визначеного рівня загрози.

Таблиця 2 - Логіка диференціації сповіщень залежно від ступеня небезпеки

Рівень загрози	Стан системи	Дія бота
Low (Моніторинг)	Об'єкт у сусідній області	Тихе оновлення статусу в меню
Medium (Увага)	Зміна курсу в бік області користувача	Стандартне сповіщення (текст)
High (Критично)	Вектор руху безпосередньо на місто	Звуковий сигнал підвищеної гучності

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. AI and NLP in Social Good: Enhancing Emergency Response and Crisis Handling via Text Analytics. 2026 [Електронний ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/400525403_AI_and_NLP_in_Social_Good_Enhancing_Emergency_Response_and_Crisis_Handling_via_Text_Analytics (дата звернення: 05.04.2026).

2. Critical-Threat-Alert Detection using Online Machine Learning (IEEE Xplore) [Електронний ресурс]. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/10021115 (дата звернення: 05.04.2026).

УДК 004.8:629.7

Щукін Д.В.[1], Волік І.П.[2]

[1] викл. ВСП «Запорізький фаховий коледж комп'ютерних технологій НУ «Запорізька політехніка»

[2] студ. гр. АКІТ22-1 ВСП «Запорізький фаховий коледж комп'ютерних технологій НУ «Запорізька політехніка»

МЕТОДИ ДЕТЕКЦІЇ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Швидкий розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та засобів повітряного нападу зумовлює необхідність створення високоефективних систем моніторингу та захисту повітряного простору. Традиційні методи радіолокації та акустичного моніторингу часто мають обмеження у виявленні малорозмірних об’єктів або працюють з низькою точністю в умовах інтенсивних завад. Для вирішення цих проблем критично важливим стає впровадження алгоритмів штучного інтелекту (ШІ), які здатні обробляти великі масиви даних у режимі реального часу.

Актуальність дослідження. Більшість існуючих систем стикаються з труднощами при ідентифікації об’єктів на фоні складного рельєфу, хмарності або при зміні освітлення. Наше дослідження зосереджено на аналізі та розробці методів детекції на основі глибокого навчання, що дозволяють підвищити надійність автономного розпізнавання літальних апаратів [1].

Огляд методів детекції. Основним інструментом у сучасних системах комп’ютерного зору для виявлення об’єктів є згорткові нейронні мережі (CNN). На відміну від класичних алгоритмів, архітектури типу YOLO (You Only Look Once) та SSD (Single Shot Multibox Detector) дозволяють здійснювати класифікацію та локалізацію об’єктів за один прохід мережі, що забезпечує високу швидкість обробки кадрів відеопотоку.

Особливості архітектури та навчання. Для навчання моделей використовується набір даних, що включає зображення літальних апаратів різних типів у широкому діапазоні ракурсів та погодних умов. Дослідження фокусується на:

- використанні архітектур, адаптованих до обмежених обчислювальних ресурсів мобільних систем спостереження;
- інтеграції механізмів уваги (Attention mechanisms) для виділення об’єктів на складному фоні;
- застосуванні методів аугментації даних для покращення здатності моделі до узагальнення.

Експериментальні дані свідчать, що використання нейромережевих підходів демонструє значне покращення точності (Precision) та повноти (Recall) виявлення порівняно з класичними методами комп’ютерного зору. Системи на основі ШІ показують стабільну роботу навіть у раніше невідомих сценаріях, що зменшує потребу в постійному втручанні оператора [2].

Перспективним напрямком подальших досліджень є перехід до мультимодальних систем, що поєднують оптичні дані з тепловізійними та акустичними сигналами для підвищення живучості систем детекції в умовах радіоелектронної боротьби.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ait Saadi A., Bhuyan B. P., Ramdane-Cherif A. Power consumption model for Unmanned Aerial Vehicles using Recurrent Neural Network techniques. *Aerospace Science and Technology*. 2025. Vol. 157. Art. 108191. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ast.2024.108191.

2. Wu D. Predictor-based neural network control for unmanned aerial vehicles with input quantization: Design and application. *Artificial Intelligence Review*. 2025. Vol. 58. Art. 47. DOI: https://doi.org/10.1007/s10462-024-11054-0.

УДК 621.396.96
Щукін О.В.[1], Бублик Л.В.[2], Дейдей Т.А.[3]
[1] зав. нав. лаб. НУ «Запорізька політехніка»
[1] викл. ВСП «Запорізький фаховий коледж комп'ютерних технологій НУ «Запорізька політехніка»
[3] студ. гр. АКІТ24-1 ВСП «Запорізький фаховий коледж комп'ютерних технологій НУ «Запорізька політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ МОДУЛЯ HLK-LD2410 ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ НАБЛИЖЕННЯ ОБ'ЄКТА ДО КОНТРОЛЬОВАНОЇ ЗОНИ

Мікрохвильові радіолокаційні сенсори присутності набувають все більшого поширення в системах безпеки, автоматизації та моніторингу простору. Одним із таких пристроїв є HLK-LD2410, який працює в діапазоні 24 ГГц і дозволяє виявляти як рух об'єктів, так і їхню статичну присутність на основі мікрорухів.

Принцип роботи модуля базується на випромінюванні безперервного мікрохвильового сигналу та аналізі змін у відбитому сигналі. Завдяки ефекту Доплера система визначає наявність рухомих об'єктів, а також може фіксувати незначні коливання, пов'язані з диханням або мікрорухами людини. Це суттєво підвищує чутливість у порівнянні з інфрачервоними PIR-датчиками.

Однією з ключових особливостей HLK-LD2410 (рис. 1) є можливість просторової сегментації зони виявлення. Простір перед сенсором поділяється на декілька дистанційних «вікон» (gates), що дозволяє не лише фіксувати факт появи об'єкта, але й орієнтовно визначати відстань до нього. Це робить можливим побудову багаторівневої системи контролю наближення.



Рисунок 1 - Модуль HLK-LD2410 для виявлення наближення об'єкта

У практичному застосуванні сенсор може використовуватися для моніторингу периметра або входів до приміщень і укриттів. Його ефективність особливо висока в умовах низької видимості — у темний час доби, туман, дощ або задимлення, де оптичні системи спостереження втрачають точність.

Додатковою перевагою є стабільність роботи в середовищах із незначними перешкодами. Радіохвилі 24 ГГц здатні проходити через неметалеві матеріали, такі як пластик, тканина або тонкі перегородки, що дозволяє приховане встановлення сенсора без втрати функціональності.

Інтерфейс UART забезпечує гнучке налаштування параметрів роботи, включаючи чутливість, межі зон виявлення та алгоритми фільтрації шуму. Додатково цифровий вихід OUT може використовуватись для формування сигналу тривоги або інтеграції з мікроконтролерами та системами сигналізації.

Важливим аспектом є правильне розміщення сенсора у просторі. Зазвичай рекомендується встановлення на висоті близько 0,8–1,2 метрів з невеликим нахилом у бік контрольованої області. Це дозволяє оптимізувати кут огляду та зменшити кількість хибних спрацювань від випадкових рухів у неконтрольованих зонах.

Таким чином, модуль HLK-LD2410 є ефективним елементом систем моніторингу наближення об’єктів і може використовуватися як складова частина автоматизованих систем виявлення присутності в різних технічних та безпекових застосуваннях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. AI and NLP in Social Good: Enhancing Emergency Response and Crisis Handling via Text Analytics. 2026. [Електронний ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/400525403_AI_and_NLP_in_Social_Good_Enhancing_Emergency_Response_and_Crisis_Handling_via_Text_Analytics (дата звернення: 27.03.2026).

2. Critical-Threat-Alert Detection using Online Machine Learning. IEEE Xplore. [Електронний ресурс]. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/10021115 (дата звернення: 27.03.2026).

УДК 004.8:629.7

Щукін Д.В.[1], Чувічкін Є.В.[2]

[1] викл. ВСП «Запорізький фаховий коледж комп'ютерних технологій НУ «Запорізька політехніка»

[2] студ. гр. ТК22-1 ВСП «Запорізький фаховий коледж комп'ютерних технологій НУ «Запорізька політехніка»

МЕТОДИ РОЗПІЗНАВАННЯ БПЛА В НІЧНИЙ ЧАС

Сучасні безпілотні літальні апарати (БПЛА) відіграють важливу роль у військових, цивільних та охоронних системах. Однією з актуальних задач є їх своєчасне виявлення та розпізнавання, особливо в умовах обмеженої видимості, зокрема в нічний час. Традиційні методи виявлення, що базуються на

оптичних сенсорах, значно втрачають ефективність у темряві, що обумовлює необхідність розробки нових підходів до розпізнавання БПЛА [1].

У даній роботі розглядаються основні методи розпізнавання БПЛА в нічний час, серед яких інфрачервона (ІЧ) візуалізація, радіолокаційні системи, акустичні сенсори та методи на основі машинного навчання. Інфрачервоні камери дозволяють виявляти теплове випромінювання двигунів і корпусу БПЛА, що робить їх ефективними навіть за повної відсутності освітлення. Радіолокаційні системи забезпечують виявлення об'єктів незалежно від освітлення та погодних умов, однак можуть мати обмеження щодо малорозмірних цілей [2].

Особливу увагу приділено застосуванню алгоритмів комп'ютерного зору та нейронних мереж для обробки даних з ІЧ-камер. Зокрема, згорткові нейронні мережі (CNN) демонструють високу точність у класифікації об'єктів навіть за умов низької контрастності зображення. Для підвищення ефективності розпізнавання застосовуються методи попередньої обробки сигналів, такі як шумозаглушення, підвищення контрасту та сегментація зображення.

Також розглядається можливість інтеграції даних з різних сенсорів (sensor fusion), що дозволяє підвищити надійність системи. Комбінування ІЧ-даних, радарної інформації та акустичних сигналів дає змогу компенсувати недоліки окремих методів та покращити точність виявлення БПЛА в складних умовах.

Результати дослідження показують, що найбільш ефективним підходом є використання комплексних систем, які поєднують декілька методів розпізнавання з використанням алгоритмів штучного інтелекту. Це дозволяє значно підвищити точність і швидкість виявлення БПЛА в нічний час.

Таким чином, розвиток методів розпізнавання БПЛА в умовах низької освітленості є перспективним напрямком досліджень, що має важливе значення для підвищення рівня безпеки та ефективності сучасних технічних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ait Saadi A., Bhuyan B. P., Ramdane-Cherif A. Power consumption model for Unmanned Aerial Vehicles using Recurrent Neural Network techniques. *Aerospace Science and Technology*. 2025. Vol. 157. Art. 108191. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ast.2024.108191.

2. Wu D. Predictor-based neural network control for unmanned aerial vehicles with input quantization: Design and application. *Artificial Intelligence Review*. 2025. Vol. 58. Art. 47. DOI: https://doi.org/10.1007/s10462-024-11054-0.

УДК 004.94

Кобець М.К.[1], Миронова Н.О.[2]
[1] студ. гр. БК-614м НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ БЕЗПІЛОТНОЮ НАЗЕМНОЮ ПЛАТФОРМОЮ НА БАЗІ MAVLINK

Актуальність роботи обумовлена стрімким розвитком безпілотних наземних транспортних систем (UGV), які широко застосовуються в логістиці, військовій сфері, аграрній індустрії та задачах моніторингу. Особливе значення має створення надійних систем телеоперації, здатних забезпечувати стабільний обмін даними між наземною станцією керування та роботизованою платформою в режимі реального часу. Використання протоколу MAVLink дозволяє стандартизувати взаємодію між GCS-системами та бортовими контролерами, що робить його актуальним для побудови сучасних автономних та напівавтономних систем керування.

Мета роботи – дослідити принципи роботи протоколу MAVLink та розробити програмно-апаратний міст для двонаправленого обміну даними між наземною станцією керування Mission Planner та безпілотною наземною платформою на базі Raspberry Pi 3 Model B з можливістю керування рухом у режимі реального часу.

У межах проєктування системи було проведено аналіз існуючих підходів до реалізації телеопераційних систем для UGV. Розглянуто архітектури з використанням ROS, прямої інтеграції UDP-сокетів, а також готових автопілотних рішень (ArduPilot/PX4). Особливу увагу приділено механізмам передачі команд через MAVLink-повідомлення, зокрема HEARTBEAT (для підтримки з'єднання з GCS), MANUAL_CONTROL та RC_CHANNELS_OVERRIDE, які забезпечують ручне керування платформою.

Для реалізації системи було обрано архітектуру на базі багатопотокового C++ застосунку, що виконує одночасно обробку UDP-пакетів MAVLink та керування апаратним рівнем. Такий підхід дозволяє розділити мережеву логіку та логіку керування рухом, забезпечуючи стабільність та мінімальні затримки при передачі команд.

Апаратна частина системи базується на Raspberry Pi 3 Model B, яка виконує роль центрального обчислювального вузла. Керування двигунами постійного струму здійснюється через драйвери ШІМ, інтегровані з бібліотекою pigpio, що дозволяє формувати точні апаратно синхронізовані сигнали керування швидкістю та напрямком руху колісної платформи.

Програмна частина реалізована на C++ з використанням UDP-сокетів для прийому та передачі MAVLink-пакетів у режимі реального часу. Обробка команд від Mission Planner здійснюється з подальшим їх перетворенням у сигнали керування двигунами. Окрему увагу приділено багатопотоковій архітектурі, яка забезпечує паралельну роботу мережевого інтерфейсу та системи керування рухом.

У процесі тестування було проведено серію експериментів у реальних умовах, під час яких оцінювалися затримка передачі команд, стабільність UDP-з'єднання, коректність обробки MAVLink-повідомлень та реакція колісної бази на введення з джойстика через Mission Planner. Отримані результати підтвердили працездатність системи та її придатність до телеопераційного керування.

У результаті роботи було модернізовано раніше створену дистанційно керовану платформу до повнофункціонального безпілотного наземного комплексу, здатного приймати команди через протокол MAVLink у режимі реального часу. Реалізоване рішення забезпечує практичний досвід у сфері мережевого програмування, робототехніки та інтеграції вбудованих систем, а також може бути використане як основа для подальшої розробки автономних UGV-систем

УДК 004.94
Білка Д.О.[1], Миронова Н.О.[2], Молочков Д.Є.[3]
[1] студ. гр. БК-614м НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[3] д-р філософ., старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ КОЛАБОРАТИВНОГО РОБОТА НА ПРИКЛАДІ ШАХОВОЇ ДОШКИ

Актуальність роботи обумовлена зростаючим впровадженням колаборативних роботів (cobots) у промисловість, дослідницькі лабораторії та навчальні середовища. Одним із ключових завдань таких систем є надійне розпізнавання об'єктів у робочій зоні та подальше маніпулювання ними в режимі реального часу. Для цього необхідна інтеграція алгоритмів комп'ютерного зору з роботизованими платформами, зокрема з колаборативним роботом FANUC CRX-10iA, який широко використовується для задач pick-and-place та адаптивної автоматизації.

Використання шахової сцени як тестового середовища дозволяє створити структуровану, контрольовану та відтворювану задачу розпізнавання, де кожна фігура має чітко визначений тип та координати. Це забезпечує можли-

вість об’єктивного порівняння різних алгоритмів детекції та класифікації об'єктів.

Мета роботи – розробити симуляційну систему керування колаборативним роботом FANUC CRX-10iA та провести порівняльний аналіз алгоритмів розпізнавання шахових фігур у Python-середовищі.

У межах роботи було використано бібліотеку python-chess для генерації та контролю станів шахової дошки. Шахівниця моделюється як робоча зона робота, а шахові фігури виступають об'єктами маніпуляції. Це дозволяє формалізувати задачу як проблему детекції та класифікації об’єктів у дискретному просторі з фіксованими координатами.

Робот FANUC CRX-10iA у роботі розглядається як колаборативний маніпулятор, який виконує операції захоплення та переміщення об’єктів у симульованому середовищі на основі результатів алгоритмів розпізнавання.

У межах дослідження реалізовано та порівняно такі підходи до комп’ютерного зору:

– класичні методи обробки зображень (OpenCV: контури, сегментація за кольором);

– feature-based методи (ORB, SIFT);

– нейромережеві підходи (YOLO, Faster R-CNN);

– легкі гібридні методи для роботи в реальному часі.

Програмна реалізація виконана на Python із використанням бібліотек OpenCV, NumPy, PyTorch або TensorFlow, а також python-chess для генерації і контролю ігрових станів. Система забезпечує: генерацію шахової сцени; розпізнавання фігур на зображенні; визначення їх класу та координат; передачу даних у модуль керування роботом; симуляцію рухів кобота FANUC CRX-10iA.

Оцінювання алгоритмів здійснюється за критеріями: точність розпізнавання об’єктів; швидкість обробки кадру; стабільність при зміні освітлення та перспективи; придатність для роботи в реальному часі на роботизованій платформі.

Результатом роботи є створений симуляційний прототип системи керування колаборативним роботом FANUC CRX-10iA, що дозволяє виконувати порівняльний аналіз алгоритмів розпізнавання об’єктів у стандартизованому шаховому середовищі. Отримані результати можуть бути використані для подальшого впровадження в системах промислової автоматизації, роботизованих навчальних стендах та дослідницьких платформах комп’ютерного зору.

УДК 004.94
Логвіненко М.Д.[1], Єфименко М.В.[2], Миронова Н.О.[3]
[1] студ. гр. БК-614м НУ «Запорізька політехніка»
[2] д-р. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»
[3] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ РОСЛИН У ЗАКРИТОМУ ҐРУНТІ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Актуальність роботи зумовлена необхідністю автоматизації процесів вирощування сільськогосподарських культур у закритому ґрунті для підвищення врожайності та мінімізації ресурсних витрат. Сучасні агросистеми потребують не лише контролю мікроклімату, а й оперативного виявлення патологій на ранніх стадіях. Інтеграція технологій Інтернету речей (IoT) та нейромережевих алгоритмів дозволяє створити автономне середовище, здатне до самодіагностики та адаптивного керування в реальному часі.

Мета роботи полягає у розробці та реалізації системи моніторингу здоров'я рослин, що забезпечує збір параметрів середовища та автоматичну ідентифікацію захворювань за допомогою методів комп'ютерного зору.

У рамках дослідження було проаналізовано архітектурні рішення для IoT-систем. Обґрунтовано доцільність використання моделі туманних обчислень (Fog Computing), що дозволяє обробляти частину даних безпосередньо на периферійних пристроях, зменшуючи навантаження на мережу та підвищуючи швидкість реакції системи.

Апаратна частина прототипу реалізована на базі енергоефективного мікроконтролера ESP32. Розроблений модуль включає канали з підвищеною завадостійкістю для зчитування показників вологості, температури та освітленості. Програмне забезпечення пристрою підтримує асинхронний збір даних та передачу інформації за протоколом MQTT, що гарантує цілісність даних навіть при нестабільному з’єднанні.

Для автоматичної діагностики стану рослин було застосовано методи глибокого навчання. Зокрема, адаптовано та навчено згорткову нейронну мережу архітектури YOLOv8. Використання трансферного навчання дозволило досягти точності розпізнавання хвороб (mAP@50) понад 85%. Система здатна ідентифікувати візуальні ознаки захворювань на листі, що дозволяє вчасно вжити заходів для захисту врожаю.

У результаті створено функціональний прототип розподіленої системи, який інтегрує збір телеметрії та інтелектуальний відеоаналіз. Практичне значення розробки полягає у можливості її впровадження в автоматизовані теплиці та малі фермерські господарства. Застосування системи сприяє знижен-

ню витрат води та електроенергії, а також суттєво зменшує частку ручної праці при контролі фізіологічного стану рослин.

УДК 004.94
Проскура О.С.[1], Єфименко М.В.[2], Миронова Н.О.[3]
[1] студ. гр. БК-614м НУ «Запорізька політехніка»
[2] д-р. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»
[3] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ АЛГОРИТМУ АВТОНОМНОЇ НАВІГАЦІЇ РОБОТА У СЕРЕДОВИЩІ WEBOTS

Актуальність роботи зумовлена розвитком автономних робототехнічних систем, здатних самостійно переміщатися у складних та заздалегідь невідомих середовищах. У сучасній робототехніці задачі навігації є ключовими для застосувань у промисловості, логістиці, складських комплексах та сервісних системах. Використання алгоритмів планування маршруту дозволяє забезпечити ефективне та безпечне переміщення робота з урахуванням перешкод.

Мета роботи – розробити та змоделювати алгоритм автономної навігації мобільного робота у середовищі Webots із використанням алгоритму пошуку оптимального шляху A*.

У процесі дослідження було проаналізовано основні підходи до планування траєкторії руху роботів, зокрема алгоритми Dijkstra, A* та метод потенційних полів. Встановлено, що алгоритм A* є найбільш ефективним для задач пошуку оптимального шляху у статичних середовищах завдяки поєднанню точності та обчислювальної ефективності.

Для реалізації моделі використано середовище Webots, у якому створено віртуальну 3D-сцену з мобільним роботом диференційного типу та набором перешкод. Налаштовано сенсорну систему для визначення положення робота та взаємодії з оточенням. Програмна реалізація виконана мовою Python із використанням API Webots для керування рухом та обробки даних.

Алгоритм A* застосовано для побудови оптимального маршруту між початковою та цільовою точками з урахуванням перешкод у середовищі. Реалізовано механізм слідування знайденій траєкторії та контроль коректності руху робота під час симуляції.

У результаті роботи створено модель автономної навігаційної системи мобільного робота, яка забезпечує побудову оптимального маршруту, безпечне пересування у середовищі з перешкодами та досягнення заданої цілі. Проведені експерименти у Webots підтвердили коректність роботи алгоритму A* та його ефективність у задачах навігації.

Отримані результати свідчать, що алгоритм A* є ефективним рішенням для планування руху в статичних середовищах і може бути використаний у реальних робототехнічних системах. Для підвищення адаптивності у динамічних умовах доцільним є його поєднання з локальними алгоритмами уникнення перешкод.

УДК 004.94
Приймак В.І.[1], Миронова Н.О.[2]
[1] студ. гр. БК-614м НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРОБКА ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА МОБІЛЬНОГО РОБОТА В СИМУЛЯЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

У сучасних умовах розвитку робототехніки особливого значення набуває концепція цифрових двійників, яка забезпечує інтеграцію фізичних об'єктів із їх віртуальними моделями. Це дозволяє здійснювати дослідження, моделювання та оптимізацію поведінки робототехнічних систем у контрольованому середовищі без ризику для реальних об'єктів.

Особливо актуальним є застосування цифрових двійників для мобільних роботів, які функціонують у динамічних середовищах і потребують високого рівня автономності. Важливу роль у цьому відіграють методи комп'ютерного зору, що забезпечують сприйняття навколишнього середовища, розпізнавання об'єктів та підтримку процесів прийняття рішень.

Метою роботи є дослідження та розробка інтелектуального цифрового двійника мобільного робота з використанням симуляційного середовища та алгоритмів комп'ютерного зору.

У роботі запропоновано архітектуру цифрового двійника, яка поєднує симуляційне середовище, платформу обміну даними та модулі обробки візуальної інформації. Як технологічну основу використано середовище моделювання, робототехнічну платформу обміну повідомленнями та сучасні алгоритми детекції об'єктів.

Реалізовано інтеграцію компонентів системи, що забезпечує узгоджену взаємодію між моделлю робота, сенсорними даними та поведінковою логікою. Розроблено модуль зорового сприйняття, який дозволяє виконувати детекцію об'єктів у реальному часі, а також реалізовано поведінкову модель мобільного робота на основі принципів скінченного автомата.

Окрему увагу приділено формуванню цифрового двійника як незалежного програмного компонента, що забезпечує представлення стану системи у

структурованому вигляді та можливість його візуалізації у зовнішніх клієнтських застосунках.

Отримані результати підтверджують ефективність запропонованого підходу до побудови інтелектуального цифрового двійника мобільного робота та створюють основу для подальшого розвитку системи, зокрема інтеграції з реальними робототехнічними платформами та розширення функціональних можливостей.

УДК 004.94
Ткачов І.М.[1], Миронова Н.О.[2], Куляба-Харитонова Т.І.[3]
[1] студ. гр. БК-614м НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[3] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

ІНКЛЮЗИВНИЙ ІНТЕРФЕЙС УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМИ ПРИСТРОЯМИ НА БАЗІ ESP32

Актуальність роботи обумовлена зростаючою потребою у створенні доступних технологій для людей з обмеженими фізичними можливостями. У сучасному світі мобільні пристрої є основним засобом комунікації, отримання інформації та соціальної взаємодії, проте стандартні способи управління (сенсорні екрани, жести) не завжди є зручними або доступними для всіх користувачів. Розробка інклюзивних інтерфейсів управління дозволяє розширити можливості взаємодії зі смартфонами, підвищити рівень автономності користувачів та їх інтеграцію в цифрове середовище. Використання доступних мікроконтролерів та бездротових технологій робить такі рішення економічно доцільними та масштабованими.

Мета роботи – розробити прототип інклюзивного інтерфейсу управління мобільними пристроями для користувачів з обмеженими фізичними можливостями на базі мікроконтролера ESP32 із використанням Bluetooth-з'єднання.

У межах дослідження було проаналізовано існуючі рішення допоміжних пристроїв введення, включаючи спеціалізовані кнопкові контролери, сенсорні панелі, голосові інтерфейси та пристрої на базі жестового керування. Основними критеріями вибору стали простота використання, доступність, енергоефективність та сумісність із мобільними платформами.

Для реалізації прототипу було обрано мікроконтролер ESP32, який забезпечує вбудовану підтримку Bluetooth та достатню обчислювальну потужність для обробки сигналів керування. Апаратна частина пристрою включає:

– енкодер (коліщатко) для прокрутки контенту;

– кнопку з підтримкою різних типів натискань (одинарне, подвійне);

– акумулятор типу Li-Pol;

– модуль зарядки TP4056 із роз'ємом Type-C.

Програмна частина реалізована з використанням середовища Arduino IDE та бібліотек для роботи з Bluetooth HID-профілем. Було впроваджено алгоритм обробки сигналів, що включає:

– зчитування імпульсів енкодера для визначення напрямку та швидкості прокрутки;

– обробку натискань кнопки з розпізнаванням подвійного кліку; – формування HID-команд для емуляції дій користувача (скролінг, натискання);

– передачу даних на мобільний пристрій через Bluetooth. Пристрій забезпечує сумісність із операційною системою Android, що дозволяє використовувати його як альтернативний засіб введення для навігації в інтерфейсі, перегляду контенту та взаємодії з додатками.

У результаті було створено функціональний прототип інклюзивного інтерфейсу управління, який дозволяє користувачам з обмеженими фізичними можливостями ефективно взаємодіяти з мобільними пристроями за допомогою простих апаратних елементів. Запропоноване рішення може бути використане як основа для розробки доступних assistive-технологій та впровадження у сфері реабілітації, соціальної адаптації та повсякденного використання.

УДК 004.942

Немудрий К.І[1], Миронова Н.О.[2], Куляба-Харитонова Т.І.[3]

[1] студ. гр. БК-614м НУ «Запорізька політехніка»

[2] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

[3] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ СИСТЕМИ РОЗУМНОГО ОПАЛЕННЯ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА ESP32 ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ПРИМІЩЕННЯ

Актуальність роботи обумовлена зростаючою потребою в енергоефективних та автоматизованих системах керування мікрокліматом у житлових приміщеннях. У сучасних умовах підвищення вартості енергоресурсів та розвитку концепції «розумного будинку» важливим є створення доступних рішень, що дозволяють автоматично підтримувати комфортні умови проживання. Існуючі комерційні системи часто мають високу вартість або обмежений функціонал, що робить актуальним розробку універсального та бюджетного прототипу системи розумного опалення.

Мета роботи – розробити та реалізувати прототип автоматизованої системи керування температурним режимом у приміщенні на базі мікроконтролера, що забезпечує підтримання комфортного мікроклімату з урахуванням енергоефективності.

У межах дослідження було проведено аналіз сучасних систем автоматизації мікроклімату та існуючих комерційних рішень, таких як інтелектуальні термостати та системи дистанційного керування кліматичною технікою. Визначено їхні переваги та недоліки, що дозволило сформувати вимоги до розроблюваного прототипу.

Для реалізації системи було обрано мікроконтролер ESP32, який забезпечує достатню продуктивність, наявність бездротових інтерфейсів Wi-Fi та Bluetooth, а також низьку вартість. У якості сенсора використано датчик температури та вологості DHT22, що дозволяє отримувати точні параметри мікроклімату. Для керування виконавчими пристроями застосовано модуль реле (для обігрівача) та інфрачервоний передавач (для кондиціонера).

Програмна частина реалізована в середовищі Arduino IDE з використанням відповідних бібліотек для роботи з датчиками та ІЧ-сигналами. Розроблено алгоритм автоматичного керування, який базується на принципі температурного гістерезису та передбачає три режими роботи:

– обігрів при зниженні температури нижче заданого порогу;

– охолодження при перевищенні верхнього порогу;

– режим очікування у зоні комфорту.

У процесі роботи було створено фізичний прототип системи та проведено його тестування. Результати експериментів підтвердили коректність функціонування алгоритму та здатність системи стабільно підтримувати заданий температурний режим без частих перемикань обладнання.

У результаті виконання роботи розроблено систему розумного опалення, яка може бути використана для автоматизації клімат-контролю в житлових приміщеннях. Запропоноване рішення має низьку собівартість та може бути розширене для інтеграції в системи «розумного будинку».

УДК 004.94
Петров Д.В.[1], Єфименко М.В.[2]
[1] студ. гр. БК-614м НУ «Запорізька політехніка»
[2] д-р. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ТА ПОВТОРЮВАНОСТІ ДВОКООРДИНАТНОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО МОДУЛЯ НАВЕДЕННЯ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ

У сучасних системах автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологіях та робототехніці завдання точного просторового орієнтування об'єктів набуває критичного значення. Двокоординатні опорно-поворотні пристрої є базовим елементом для систем оптичного стеження, безконтактного 3D-сканування, відеонагляду та спрямування антенних комплексів. Зростаючі вимоги до швидкодії та плавності руху таких платформ зумовлюють необхідність постійного вдосконалення електромеханічних модулів та алгоритмів їх роботи.

Метою роботи є дослідження та просторового позиціонування двухкоординатного електромеханічного модуля шляхом розробки та впровадження автоматизованої системи керування на базі сучасних мікропроцесорних платформ.

Для досягнення поставленої мети роботі потрібно вирішити наступні задачі:

– провести аналіз кінематики двухкоординатного опорно-поворотного пристрою та визначити джерела виникнення похибок у пасовій передачі;

– розробити апаратно-програмний комплекс керування кроковим електроприводом із підтримкою режимів автоматичного наведення за координатами та ручного керування за допомогою зовнішнього USB-маніпулятора;

– розробити програмні алгоритми керування рухом та обробки сигналів на базі високорівневих обчислювальних платформ;

– провести експериментальні дослідження розробленої системи, визначити реальні показники точності позиціонування, повторюваності та проаналізувати отримані результати.

У результаті виконання роботи буде проведено дослідження двокоординатного електромеханічного модуля опорно-поворотного типу та розроблено автоматизовану систему його керування; проаналізовано кінематичні особливості пристрою та виявлено основні джерела похибок, зокрема у пасовій передачі, що дозволить врахувати їх при побудові алгоритмів керування.

УДК 004.94
Бушман І.С.[1], Миронова Н.О.[2], Молочков Д.Є.[3]
[1] студ. гр. БК-612 НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[3] д-р філософ., старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ У СИСТЕМАХ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

Актуальність проблеми виявлення об’єктів у системах комп’ютерного зору зумовлена стрімким розвитком автоматизованих та інтелектуальних систем, що активно впроваджуються у промисловість, робототехніку, транспортні системи, медицину та інші галузі. Сучасні технології потребують надійних і ефективних методів аналізу візуальної інформації, здатних у реальному часі визначати наявність, положення та характеристики об’єктів у складних умовах середовища. Успішність функціонування таких систем, а також їх швидкодія і точність значною мірою залежать від правильного вибору методу виявлення об’єктів для тієї чи іншої задачі.

Мета роботи – провести аналіз методів виявлення об’єктів у системах комп’ютерного зору та визначення їх ефективності, переваг і обмежень залежно від умов застосування.

Методи виявлення об’єктів базуються на використанні заздалегідь визначених ознак та традиційних алгоритмів обробки зображень. Вони передбачають послідовне виконання етапів попередньої обробки зображення, виділення інформативних ознак, ідентифікації та локалізації об’єктів. Основною перевагою таких підходів є відносно низька обчислювальна складність і можливість їх застосування у системах реального часу.

Залежно від типу використовуваних ознак, класичні методи можна поділити на декілька основних груп:

– градієнтні та контурні;
– текстурні;
– колірні;
– геометричні та шаблонні;
– комбіновані.

У ході аналізу методів виявлення об’єктів встановлено, що градієнтні та контурні методи базуються на аналізі змін інтенсивності пікселів у зображенні та дозволяють виділяти межі об’єктів. Їх найбільш поширеними прикладами є оператори Собеля, Прюітта та Кенні, які забезпечують ефективне виявлення контурів у випадках високого контрасту між об’єктом і фоном. Основним недоліком даного підходу є чутливість до шумів та залежність від умов освітлення.

Текстурні методи ґрунтуються на аналізі просторових закономірностей розподілу інтенсивності пікселів і дозволяють розрізняти об’єкти зі схожими кольорами, але різною структурою поверхні. Прикладами подібних підходів є матриці суміжності рівнів сірого (GLCM), фільтри Габора, вейвлет-перетворення та інші. Їх основною перевагою є висока інформативність текстурних ознак, однак недоліком виступає значна обчислювальна складність та чутливість до зміни масштабу й повороту об’єктів.

Колірні методи використовують інформацію про розподіл кольорів у зображенні та базуються на аналізі кольорових моделей, таких як RGB, HSV або CIELAB. Вони є ефективними у задачах, де об’єкти мають чітко виражені колірні характеристики, що дозволяють їх відокремити від фону. Разом із тим, такі методи є чутливими до змін освітлення, появи тіней та відблисків, що може суттєво знижувати точність виявлення.

Геометричні та шаблонні методи передбачають пошук об’єктів за їх формою або відповідністю заздалегідь заданим еталонам. До них належать кореляція шаблонів, алгоритм Хафа для виявлення ліній і кіл, а також різні методи аналізу контурів. Перевагою даного підходу є висока точність локалізації об’єктів із стабільною геометрією, однак при цьому ефективність виявлення знижується при зміні масштабу, ракурсу або деформаціях об’єкта.

Комбіновані методи поєднують кілька підходів одночасно, наприклад, використання градієнтних ознак разом із класифікаторами машинного навчання, такими як SVM, або поєднання колірних масок із геометричними методами. Така практика дозволяє підвищити точність і стійкість системи до змін умов середовища, однак призводить до збільшення обчислювальної складності та складності реалізації.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що методи виявлення об’єктів залишаються ефективними для широкого кола задач комп’ютерного зору, особливо в умовах контрольованого середовища та обмежених обчислювальних ресурсів, проте їх вибір та застосування повинні здійснюватися з урахуванням специфіки вхідних даних, вимог до точності та швидкодії системи.

УДК 004.94
Григорьєва К.Є.[1], Куляба-Харитонова Т.І.[2]
[1] студ. гр. БК-612 НУ «Запорізька політехніка»
[2] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

АВТОМАТИЗОВАНА ХМАРНА SCADA-СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

Актуальність проблеми моніторингу та діагностики стану трансформаторних підстанцій зумовлена тим, що надійна та безперебійна робота трансформаторних підстанцій є критично важливою складовою електроенергетичної інфраструктури. Сучасні технології потребують надійних і ефективних засобів аналізу стану об'єктів, здатних у режимі реального часу відстежувати ключові електричні параметри та автоматично виявляти аварійні режими. Успішність функціонування таких систем, а також їх швидкодія і точність значною мірою залежать від впровадження сучасних хмарних SCADA-систем для централізованого збору телеметрії.

Мета роботи – проєктування та реалізація автоматизованої хмарної SCADA-системи моніторингу та діагностики стану трансформаторних підстанцій, що забезпечує збір телеметричних даних у режимі реального часу, виявлення стрибків напруги й аварійних режимів та своєчасне сповіщення відповідальних осіб.

Методи моніторингу базуються на використанні хмарних платформ Інтернету речей (IoT) у поєднанні з легкими протоколами передачі даних. Вони передбачають послідовне виконання етапів збору телеметрії, передачі даних у хмарну IoT-платформу ThingsBoard за протоколом MQTT, виявлення аномальних режимів та відображення стану підстанцій на панелях візуалізації. Основною перевагою таких підходів є економічна ефективність і можливість масштабування без значних капітальних витрат на апаратну інфраструктуру.

Залежно від архітектурних завдань обробки даних, компоненти системи можна поділити на декілька основних груп:

– імітатор генерації телеметрії підстанцій;
– підсистема прийому даних (MQTT);
– панелі візуалізації (dashboards);
– правила обробки даних (Rule Engine) та генерації тривог.

У ході аналізу методів моніторингу встановлено, що імітаційні методи базуються на генерації синтетичних часових рядів параметрів підстанцій мовою Python. Їх найбільш поширеними інструментами є бібліотеки paho-mqtt та numpy, які забезпечують відтворення реалістичних сценаріїв нормальних і аварійних режимів. Основним недоліком даного підходу є те, що він

виступає програмним імітатором і для реального промислового застосування потребує заміни на фізичні вузли збору даних.

Платформні методи ґрунтуються на використанні ThingsBoard, що дозволяє розгорнути хмарну частину з повнофункціональним веб-інтерфейсом і мобільним застосунком. Їх основною перевагою є наявність механізму Rule Chain, що забезпечує виявлення стрибків напруги із затримкою реагування не більше 2 секунд та автоматичне очищення тривог при поверненні параметрів до норми.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що розроблена масштабована хмарна SCADA-система залишається ефективною для моніторингу довільної кількості трансформаторних підстанцій. Її застосування дозволяє автоматизувати процеси збору, обробки та відображення телеметрії, а також забезпечує своєчасну діагностику аварійних ситуацій, що дозволяє адаптувати її до реального промислового застосування в умовах України.

УДК 004.94

Павлов Є.В.[1], Миронова Н.О.[2], Куляба-Харитонова Т.І.[3]
[1] студ. гр. БК-612 НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[3] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ІНТЕРФЕЙСУ ВЗАЄМОДІЇ ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА З PLC-КОНТРОЛЕРОМ НА ОСНОВІ ПРОТОКОЛУ OPC UA

Актуальність роботи обумовлена зростаючими вимогами до інтеграції роботизованих систем у сучасних автоматизованих виробництвах. У промисловості важливу роль відіграє ефективна взаємодія між промисловими роботами та програмованими логічними контролерами (PLC), що забезпечує узгоджену роботу обладнання, підвищення продуктивності та зниження кількості помилок. Використання сучасних промислових протоколів, таких як OPC UA та Modbus, дозволяє створювати гнучкі та масштабовані системи обміну даними між різними компонентами виробничих ліній. Розробка програмного інтерфейсу взаємодії між роботами та PLC сприяє підвищенню рівня автоматизації, спрощенню моніторингу та керування технологічними процесами.

Мета роботи – розробити прототип програмної системи типу Robot-to-PLC Bridge, що забезпечує обмін даними між роботизованою системою та PLC-контролером із використанням протоколів OPC UA або Modbus, а також реалізує функції моніторингу та керування у вигляді застосунку.

У межах проєктування системи було проведено аналіз існуючих підходів до інтеграції роботів і контролерів, зокрема через промислові мережі та протоколи обміну даними. Розглянуто архітектури взаємодії між роботами, PLC та програмними клієнтами, включаючи використання OPC UA серверів, проміжних шлюзів та прямого підключення через Modbus TCP. Вибір рішення визначався вимогами до надійності, масштабованості, швидкодії та сумісності з промисловим обладнанням.

Для реалізації прототипу було обрано архітектуру з використанням OPC UA як універсального протоколу обміну даними між PLC та клієнтським застосунком. Це дозволяє отримувати доступ до технологічних змінних у реальному часі, а також здійснювати запис керуючих команд. У якості клієнтського застосунку використано десктопний інтерфейс, розроблений із застосуванням технології Windows Presentation Foundation з використанням архітектурного шаблону MVVM.

Програмна частина системи реалізована мовою C# із використанням бібліотек OPC UA для .NET. Було впроваджено функціональні модулі, що забезпечують:

– встановлення з’єднання з OPC UA сервером;

– зчитування значень технологічних змінних (датчиків, станів);

– запис керуючих сигналів (команди запуску/зупинки);

– відображення стану системи у графічному інтерфейсі;

– логування обміну даними та подій системи.

Додатково передбачена можливість розширення системи шляхом інтеграції з базами даних для збереження історії параметрів, а також реалізації аналітичних функцій для оцінки ефективності роботи обладнання.

У результаті було створено функціональний прототип програмної системи взаємодії між роботизованою системою та PLC-контролером, який забезпечує обмін даними в реальному часі, моніторинг стану та базове керування обладнанням. Розроблена система може бути використана як основа для побудови SCADA-систем або інтеграції у складні автоматизовані виробничі комплекси.

УДК 004.94
Вишневецька В.С.[1], Миронова Н.О.[2]
[1] студ. гр. БК-613сп НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ВТОМИ СКЕЛЕТНИХ М'ЯЗІВ

Актуальність роботи обумовлена зростаючою потребою у контролі фізіологічного стану людини в умовах підвищених навантажень, зокрема у спорті, медицині та реабілітації. Однією з ключових задач є визначення рівня втоми скелетних м'язів, оскільки її накопичення призводить до зниження працездатності, підвищення ризику травм та погіршення ефективності фізичної діяльності. Використання сучасних методів аналізу біоелектричних сигналів дозволяє автоматизувати процес оцінки стану м'язів та забезпечити об'єктивний контроль у реальному часі.

Мета роботи – розробити програмну систему моніторингу втоми скелетних м'язів на основі аналізу біоелектричних сигналів із використанням методів спектрального аналізу.

У межах роботи було проаналізовано методи дослідження м'язової активності, зокрема Electromyography, що дозволяє реєструвати електричні сигнали м'язів та оцінювати їх функціональний стан. Розглянуто особливості ЕМГ-сигналів, джерела шумів та необхідність їх попередньої обробки перед аналізом.

Для визначення стану втоми було обрано спектральний підхід із застосуванням Fourier Transform, що дозволяє досліджувати частотні характеристики сигналу. Основними інформативними параметрами є середня частота (MNF) та медіанна частота (MDF), зміна яких у процесі навантаження свідчить про розвиток м'язової втоми.

Програмна частина реалізована з використанням мови Python та бібліотек NumPy, SciPy і Matplotlib. Було розроблено алгоритм обробки сигналів, який включає:

– генерацію або завантаження ЕМГ-сигналів;

– попередню обробку та фільтрацію;

– обчислення спектра сигналу за допомогою швидкого перетворення Фур'є (FFT);

– розрахунок спектральних характеристик (MNF, MDF);

– візуалізацію сигналів та результатів аналізу.

У процесі дослідження також розглянуто апаратні засоби збору ЕМГ-сигналів, включаючи електроди, підсилювачі та аналого-цифрові перетворю-

вачі, що забезпечують отримання даних для подальшої обробки у програмній частині системи.

У результаті було створено функціональний програмний прототип системи моніторингу втоми скелетних м’язів, який дозволяє аналізувати біоелектричні сигнали, визначати ознаки втоми та відображати результати у зручній графічній формі. Розроблена система може бути використана у спортивній медицині, реабілітаційних програмах та дослідженнях фізіологічного стану людини, а також інтегрована в автоматизовані системи моніторингу.

Наукове електронне видання
Можна використовувати в локальному та
мережному режимах

ТИЖДЕНЬ НАУКИ-2026
Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій

Збірник тез доповідей щорічної
науково-практичної конференції серед студентів,
викладачів, науковців, молодих вчених та аспірантів

13–17 квітня 2026 року

Один електронний оптичний диск (DVD-ROM); супровідна документація.
Тираж 100 прим. Зам. №699

Видавець і виготовлювач
Національний університет «Запорізька політехніка»
Україна, 69063, м. Запоріжжя, вул. Університетська, 64
Тел.: (061) 769–82–96, 220–12–14

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6952 від 22.10.2019.