



Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
Інженерно-хімічний факультет



АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ – 2025

XI МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
МОЛОДИХ УЧЕНИХ, АСПІРАНТІВ І СТУДЕНТІВ

АКІТ – 2025

Київ, 07 травня 2025 року

Матеріали конференції

КПІ ім. Ігоря Сікорського
Видавництво «Політехніка»



Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інженерно-хімічний факультет



КАФЕДРА
ТЕХНІЧНИХ ТА ПРОГРАМНИХ
ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

АВТОМАТИЗАЦІЯ
ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ – 2025
XI МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
МОЛОДИХ УЧЕНИХ, АСПІРАНТІВ І СТУДЕНТІВ

АКІТ – 2025

Київ, 07 травня 2025 року

Матеріали конференції

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2025

УДК 66.01-52:004](062)

A22

Рекомендовано до друку Вченою радою
Інженерно-хімічного факультету
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
(Протокол № 4 від 05.05.2025 р.)

Відповідальний за випуск

В. С. Цапар, канд. техн. наук, доц.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

A22 **Автоматизація** та комп'ютерно-інтегровані технології – 2025 :
матеріали XI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених, аспірантів
і студентів АКІТ – 2025, м. Київ, 07 трав. 2025 р. / уклад. М. В. Лукінюк. –
Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2025. – 102 с.
ISBN 978-966-990-144-6

Наведено матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (АКІТ – 2025)», яка відбулася в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» 07 травня 2025 року. Висвітлено сучасні підходи та методи в автоматизації виробничих процесів, математичному моделюванні технологічних об'єктів, синтезі комп'ютерних систем керування, застосуванні штучного інтелекту, комп'ютерного зору та робототехніки для розв'язання задач контролю та керування.

Для науковців, аспірантів і студентів закладів вищої освіти.

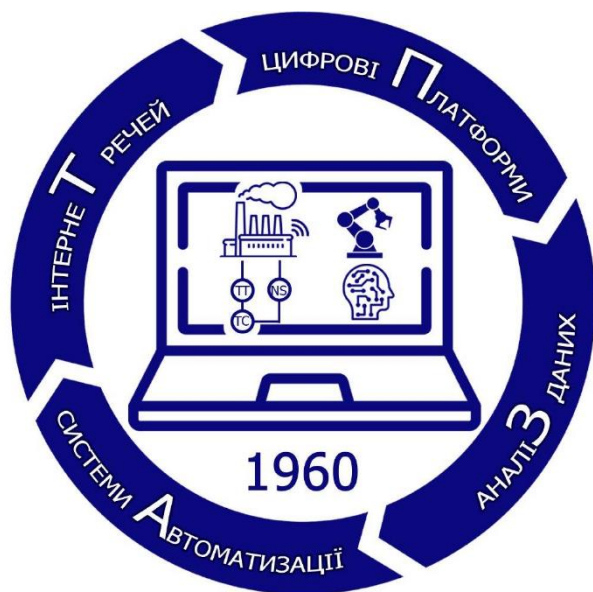
УДК 66.01-52:004](062)

ISBN 978-966-990-144-6

© Автори тез доповідей, 2025

© КПІ ім. Ігоря Сікорського (ІХФ), 2025

Кафедра технічних та програмних засобів автоматизації



КАФЕДРА ТЕХНІЧНИХ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Кафедра читала курс теорії автоматичного регулювання на різних факультетах (ця традиція підтримується донині). Першими студентами кафедри стали студенти хіміко-технологічного факультету, які висловили бажання отримати спеціальність «Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв». Через рік кафедру перейменували («Кафедра теоретичних основ автоматики і автоматизації хімічних виробництв»), а згодом вона отримала назву «Кафедра автоматизації хімічних виробництв» (кафедра АХВ).

Перший випуск інженерів, підготовлених кафедрою, відбувся 1963 року. Того ж року кафедра перейшла на факультет хімічного машинобудування КПІ. У подальшому кафедру очолювали доцент М. Д. Ступак (1963–1964), професори Р. Я. Ладієв (1964–1977), Ю. О. Остапенко (1977–1984), В. С. Коваленко (1984–1990), М. З. Кваско (1990–2007). З січня 2007 по серпень 2023 кафедру очолював доктор технічних наук, професор Анатолій Іванович Жученко.

У 2020 році відбулося об'єднання кафедри автоматизації хімічних виробництв та кафедри кібернетики хіміко-технологічних процесів в єдину кафедру під назвою «Кафедра технічних та програмних засобів автоматизації» (кафедра ТПЗА).

З вересня 2023 року завідувачем кафедри ТПЗА є кандидат технічних наук, доцент Цапар Віталій Степанович.

На кафедрі працюють 43 викладачі, серед яких 2 професори, 15 доцентів. У різні роки на кафедрі працювали відомі вчені – професори О. М. Крижанівський, А. З. Грищенко, В. М. Кунцевич.

була створена на хіміко-технологічному факультеті КПІ наказом ректора О. С. Плигунова № 434 від 2 червня 1960 р. Згідно з наказом вона отримала назву «Кафедра теоретичних основ автоматики», її першим завідувачем став відомий спеціаліст з теорії автоматичного регулювання професор Корнілов Юрій Георгійович, автор першого в СРСР підручника з теорії автоматичного регулювання.

Колектив кафедри за короткий час створив лабораторну базу, займаючись одночасно підготовкою курсів лекцій і навчанням студентів. Викладачі кафе-

За час існування кафедри підготовлено тисячі фахівців з автоматизації технологічних процесів (інженерів, спеціалістів, бакалаврів, магістрів), у тому числі сотні іноземців, виконано значний обсяг науково-дослідних робіт, результати яких впроваджено на десятках підприємств України та далеко за її межами. Випускники кафедри успішно працюють програмістами у ІТ-компаніях, банках, керівниками відділів автоматизації на підприємствах, інженерами у науково-дослідних та проектних організаціях.

Кафедрою проводиться підготовка бакалаврів, магістрів і докторів філософії за спеціальністю 174 (G7) – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

У грудні 2024 року освітньо-професійна програма першого (бакалаврського) рівня вищої освіти акредитована Румунським агентством з оцінювання якості вищої освіти та отримала сертифікат визнання EUR-ACE® Label.

Сьогодні кафедра ТПЗА має в своєму розпорядженні сучасні навчальні лабораторії автоматики та мікропроцесорної техніки, технологічних вимірювань і приладів, а також комп'ютерні та мультимедійні класи, центр дистанційного навчання, навчально-прикладний центр розробки стратегій керування «Хоневелл Україна», лабораторію робототехніки.

Студенти кафедри вивчають теорію автоматичного керування, прийняття рішень, технології штучного інтелекту, інформаційні технології, комп'ютерні мережі, захист інформації, програмування, робототехніку та мікропроцесорну техніку.

Викладачами та співробітниками кафедри видано понад 300 підручників, навчальних посібників і монографій, оприлюднено тисячі наукових публікацій, отримано сотні авторських свідоцтв на винаходи та патентів.

Адреса кафедри: 03056, Київ, пр-т Берестейський, 37, корпус № 19;

телефони: (044) 204-96-70, 204-85-70;

e-mail: tpza@kpi.ua;

сайт: <https://tpza.kpi.ua>.

Щорічно весною проводиться Міжнародна науково-практична конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ).

Матеріали конференцій друкуються у вигляді збірників, а також розміщуються в електронному варіанті на сайті кафедри та в електронному архіві КПП ім. Ігоря Сікорського.

ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ОЦІНКИ ГЛИБИНИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ДИСПЕРСНОГО СКЛАДУ ЕМУЛЬСІЇ

Косенко В. В., Коротинський А. П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, v.v.kosenko@kpi.ua

Загальноприйняті підходи до аналізу мікроскопічних зображень базуються на ручному аналізі дисперсного складу, що є надзвичайно трудомістким процесом, потребують значних часових витрат та схильні до людських помилок. Це зумовило перехід до напів автоматизованих чи автоматизованих підходів визначення дисперсного складу.

Одним із таких рішень, є підходи що базується на методах комп'ютерного зору, таких як сегментація зображень. Сегментація дозволяє автоматично розпізнавати й виділяти на зображенні бульбашки в емульсії, та вимірювати їх геометричні розміри.

Підхід до автоматизованого визначення дисперсного складу продукту за допомогою сегментації зображень з мікроскопу має свої суттєві недоліки. Цей метод працює з 2D зображеннями, що представляють емульсію як тонкий шар. Вихід таких моделей це маска, наявності сегментів в цьому тонкому шарі. Такий підхід передбачає вичленнення бульбашок в просторі, проте не характеризує в числовому вигляді зв'язок з глибиною. Це призводить до унеможливлення застосування цього підходу в реальному часі, через необхідність підготовки лабораторного взірця, а також вносить неточність у оцінці дисперсності, через його оцінювання у вигляді плоскої поверхні, а не об'єму.

У цій роботі пропонується модифікувати підхід до сегментації даних, а саме перейти від класичної сегментації до вирішення задачі оцінки глибини.

Оцінка глибини (від англ. *depth-estimation*) - це традиційна задача комп'ютерного зору, яка передбачає глибину на основі одного або декількох двовимірних зображень*. В методах активних підходів, де застосовуються LIDAR-сенсори та RGB-D камери, інформація про глибину досягається швидко. У пасивних методах, тобто методах без застосування спеціалізованих сенсорів, часто досягається за допомогою двох основних методологій: глибина зі стереозображень і монокулярних зображень.

Для дослідження можливості застосування *depth-estimation* підходу в аналізі мікроскопії результатів емульгування, пропонується розглянути пасивний підхід на базі методології монокулярних зображень. Для досягнення цієї мети необхідно виконати ряд задач.

1. Підготувати навчальний датасет. Етап підготовки датасету передбачає використання карти глибини мікроскопії, що є досить складним та дороговартісним на даний момент. Тому у дослідженні використовується синтетичний датасет

* Armin Masoumian, Hatem A. Rashwan, Julián Cristiano, M. Salman Asif, Domenec Puig (2022). Monocular Depth Estimation Using Deep Learning: A Review. Sensors 2022, 22(14), 5353. <https://doi.org/10.3390/s22145353>.

сцен, що включає випадкові кола які представляють бульбашки, де відтінок бульбашки залежить від її глибини та відповідно значення глибини. Приклад екземпляра навчальної вибірки наведено на рис. 1.

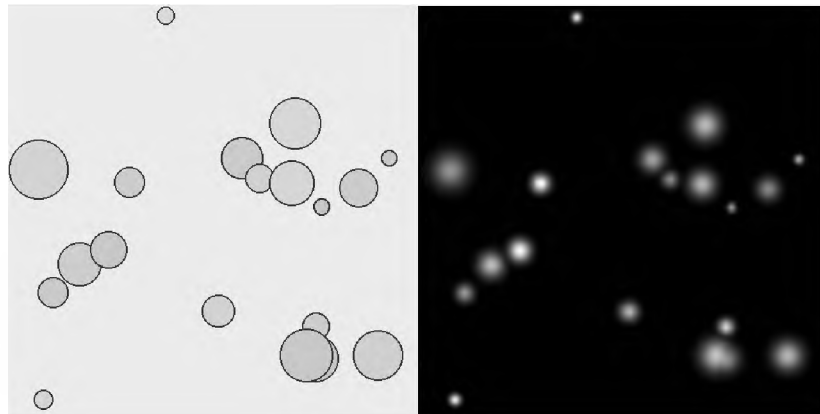


Рис 1. Приклад екземпляру синтезованого датасету

2. Тренувати *depth-estimation* модель. У якості архітектури моделі запропоновано розглядати класичну для сегментації архітектуру *U-net*, з модифікованим виходом для вирішення задачі регресії.

3. Дослідити результати застосування моделі на реальних даних. Результати навчання запропонованої моделі та її застосування на лабораторних зображень мікроскопії показано на рис 2.

Як видно з результатів, інформація про глибину дозволяє більш чіткіше відокремити бульбашки між собою, за рахунок сферичності об'єкта а відтак неоднорідності карти глини по самому об'єкту. Також застосування карти глибини дає краще розуміння переміщення бульбашок в самому об'ємі емульсії.

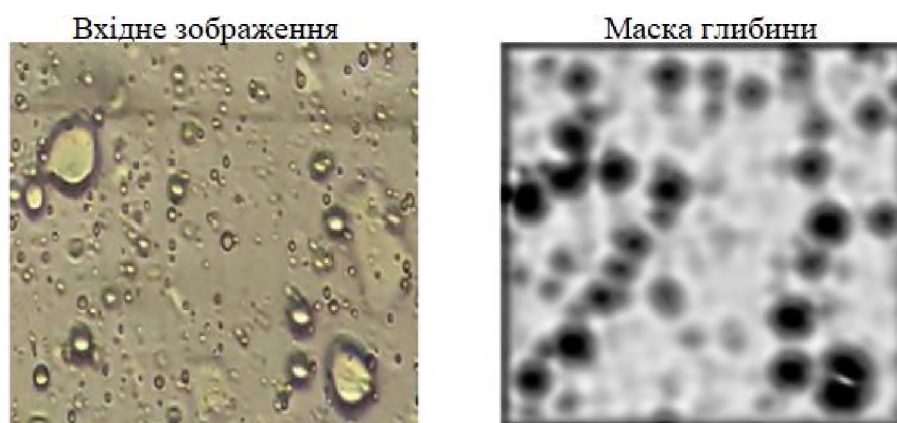


Рис 2. Результати застосування моделі на реальних даних

З результатів видно, що застосування *depth-estimation* моделі, дозволяє розширити підходи до оцінювання ступеня дисперсності, за рахунок введення в аналіз додаткового просторового уявлення, що дозволяє врахувати особливості розміщення бульбашок в об'ємі.

СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АЛКІЛЯТОРОМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ *MPC*-РЕГУЛЯТОРА

Максименко О. Є, Складанний Д. М., Лукінюк М. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, sashakyivan@gmail.com

Прогностичне керування за моделлю (*MPC*) – це один із найновіших методів керування процесом, який дозволяє підтримувати задані параметри технологічних процесів за наявності різного роду обмежень. Такий підхід знаходить широке застосування, зокрема у АСУ ТП або у системах балансування енергомереж. Основною перевагою *MPC* є його здатність оптимізувати поточний керувальний вплив, враховуючи прогноз майбутньої поведінки системи та коригування керувальних дій у режимі реального часу. Це дає змогу більш ефективно реагувати на зміни процесу та підтримувати оптимальний режим роботи. Хоча в деяких випадках спеціалізовані аналогові схеми і можуть забезпечити кращі значення окремих показників якості, *MPC* активно впроваджується в цифрових системах керування [1].

Основним завданням налаштування є визначення оптимальних параметрів регулятора, які забезпечать стабільну та ефективну роботу системи. Для конфігурації *MPC*-регулятора зазвичай використовуватиметься спрощена модель, яка не включає зворотних зв'язків між вхідними та вихідними сигналами. Це пояснюється тим, що наявність таких зв'язків, а також суттєва нелінійність початкової моделі, значно ускладнюють процес налаштування параметрів регулятора.

У роботі розглядається синтез системи керування алкілятором, для якого побудовано математична модель і знайдено передавальну функція [2]. Метою керування є підтримання заданої концентрації алкіляту на виході з апарата за рахунок зміни витрат води. Збурення – температура охолоджувальної води на вході в алкілятор.

Рисунок 1 показує структуру досліджуваної системи керування з *MPC*-регулятором, змодельовану у *MatLab Simulink* [3]. Початкове та цільове значення пропонується у формі констант.

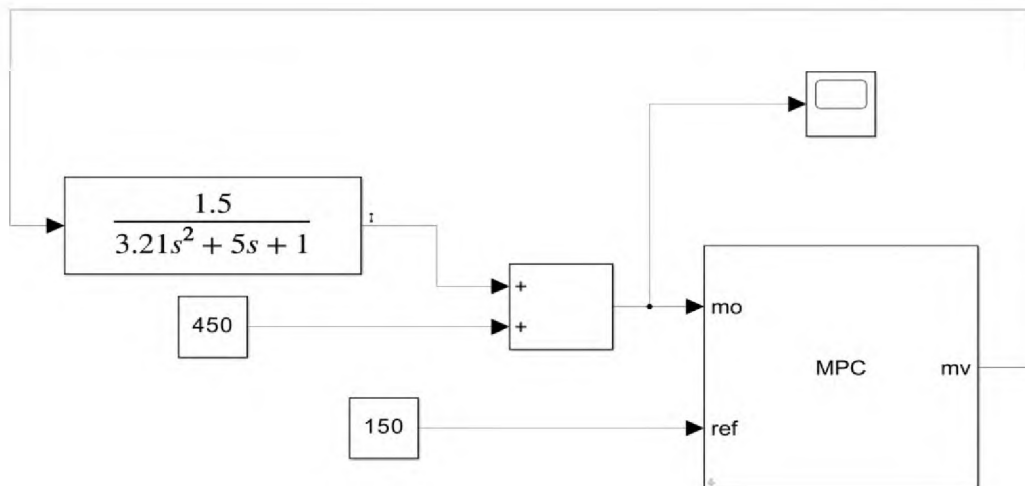


Рис. 1. Структура системи керування з *MPC*-регулятором у *MatLab Simulink*

Налаштування *MPC*-регулятора у *Simulink MPC Control Desing* здійснюється переважно за допомогою двох параметрів – *PH* (*Prediction Horison*) та *CH* (*Control Horison*). У даній представленій роботі нами досліджено перехідні характеристики системи керування за значень зазначених параметрів, вказаних на рис. 2.

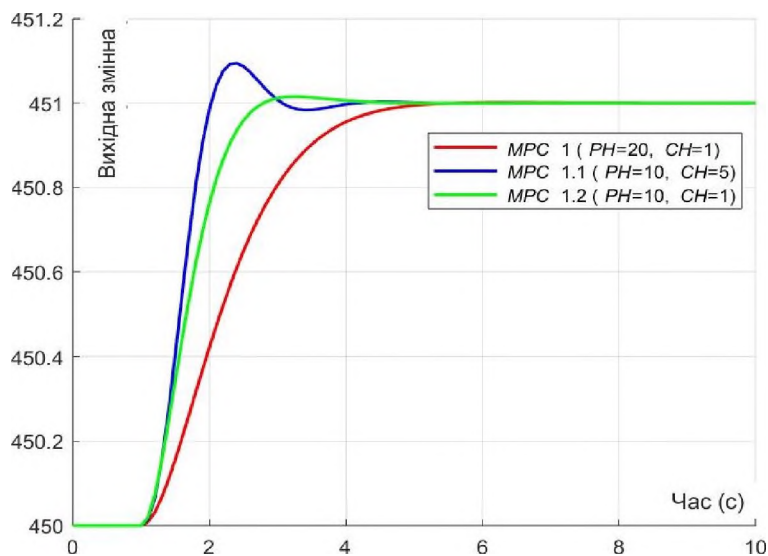


Рис. 2. Перехідний процес системи з *MPC*-регулятором

Проаналізувавши зображені перехідні характеристики, кожна з яких визначається вказаним набором параметрів *PH* та *CH*, можна дійти таких висновків:

- *MPC* 1 – вихідна змінна зростає повільніше за інші варіанти, але показує найменше перерегулювання, а перехідний процес триває найдовше;
- *MPC* 1.1 – вихідна змінна досягає усталеного значення швидше, але має значне перерегулювання, регулятор агресивніше реагує на зміну сигналу, що може бути небажаним у певних системах;
- *MPC* 1.2 – вихідна змінна зростає швидко, має менше перерегулювання, ніж *MPC* 1.1, перехідний процес коротшає, порівняно з *MPC* 1. Такі налаштування можна вважати оптимальними.

1. Rawlings J. B., Mayne D. Q., Diehl M. M. Model Predictive Control: Theory, Computation, and Design 2nd Edition. Madison, Wisconsin: Nob Hill Publishing, LLC, 2017. 770 p. ISBN 9780975937730.

2. Лукінюк М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами : у 2 кн. Кн. 2. Керування хіміко-технологічними процесами : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом : «Хімічна технологія та інженерія». Київ : НТУУ «КПІ», 2012. ISBN 978-966-622-531-6 (Кн. 2).

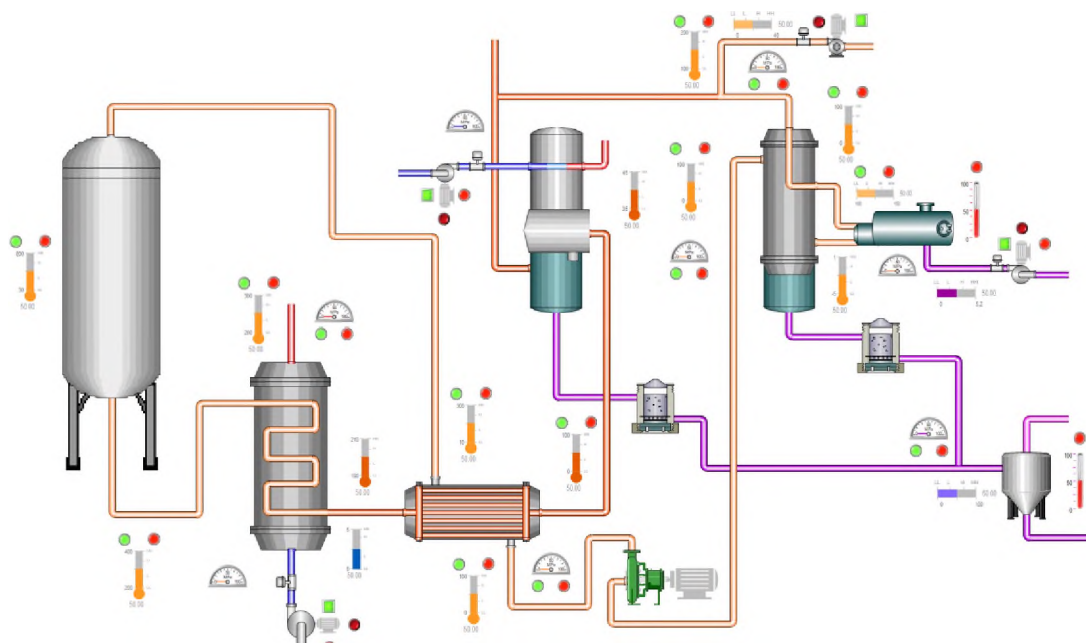
3. Коржик М. В. Моделювання об'єктів та систем керування засобами MatLab / Навч. посібн. для студентів вищих навч. закл. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 174 с.

АВТОМАТИЗОВАНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СИНТЕЗУ АМІАКУ З ЛЮДИНО-МАШИНИМ ІНТЕРФЕЙСОМ

Бородько О. Є., Ситніков О. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, o.sitnikov@kpi.ua

Автоматизація виробництва аміаку відіграє ключову роль у забезпеченні стабільності процесу. Система синтезу аміаку характеризується складністю фізико-хімічних процесів, потребує точного контролю параметрів.

В даній роботі пропонується рішення щодо реалізації системи керування процесом синтезу карбаміду з використанням *SCADA*-системи *iFIX*, яка дозволяє візуалізувати, контролювати основні параметри процесу, забезпечити керування вторинними приладами та безперервний моніторинг в режимі реального часу. Передбачено інтеграцію цих приладів до *SCADA*-системи*.



Людино-машинний інтерфейс для керування вторинними приладами

Вторинні прилади у розробленій системі підключаються через інтерфейс *RS-485* та працюють за протоколом *Modbus RTU*. Персональні комп'ютери не мають вбудованої підтримки *RS-485*, тому було використано блок перетворення інтерфейсів *Ethernet MICROL SDS-485*.

Апаратне забезпечення та налаштування протоколів зв'язку дозволило інтегрувати *SCADA*-систему до модернізованих об'єктів автоматизації.

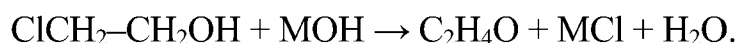
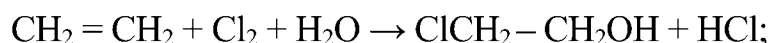
* Лісовець С. М. *SCADA*-системи. Практикум. Частина 1 [Елек. ресурс] : навч. посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освіт.-профес. програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка/ С. М. Лісовець, В. Г. Здоренко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Елек. текст. дані (1 файл: 1,2 Мб). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 84 с.

КОМП'ЮТЕРНИЙ РОЗРАХУНОК МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ОКСИДУ ЕТИЛЕНУ

Абрамова А. О., Бондаренко С. Г., Бугаєва Л. М., Примиська С. О., Селецька А. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, alla_abramova@ukr.net

Оксид етилену є одним з найбільш великотонажних продуктів органічного синтезу, які одержані на основі етилену. Для отримання окису етилену сучасна хімія використовує два основні методи: одержання з етилену каталітичним окиснюванням останнього й одержання з етиленхлоргидрину.

Технологічний процес виробництва окису етилену хлоргідридним способом включає три основні стадії: одержання етиленхлоргидрину; одержання окису етилену взаємодією етиленхлоргидрину з їдким лугом; очищення окису етилену:



В усіх промислових технологічних схемах виробництва оксиду етилену прийнято процес в нерухомому шарі каталізатора з циркуляцією продуктів реакції.

Технологічні схеми отримання оксиду етилену каталітичним окисненням етилену досить різні. Вони відрізняються складом газу, що надходить на окислення, окислюючим агентом (повітря або кисень), направленням потоку газу в реакторі (ввід зверху або знизу), способом знімання тепла (циркулюючим чи киплячим теплоносієм, при цьому цим теплоносієм може бути кипляча вода), тиском при окисленні, розміщенням циркуляційних компресорів (до чи після реакторів). Існує декілька методів отримання оксиду етилену з реакційних газів: адсорбція активованим вугіллям з наступною десорбцією шляхом оброблення вугілля перегрітою водяною парою; поглинання оксиду етилену розчинниками; поглинання оксиду етилену водою.

До етилену, котрий використовується у виробництві оксиду етилену, висуваються досить високі вимоги не тільки по вмісту сірчистих з'єднань та ацетиленових вуглеводнів, в ньому повинно бути мінімальна кількість інших вуглеводнів, особливо неграничних, а також вуглеводню та оксидів вуглецю.

Для розрахунку матеріального балансу досліджуваного процесу побудовано технологічну схему (рис.1) у *Chemcad*^{*}.

^{*} Чисельне моделювання хіміко-технологічних процесів з використанням моделюючої програми *ChemCad*: навчальний посібник / І. О. Гузьова, А. О. Нагурський, В. М. Атаманюк; Міністерство освіти і науки України, Національний університет "Львівська політехніка". Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2021. 136 с.

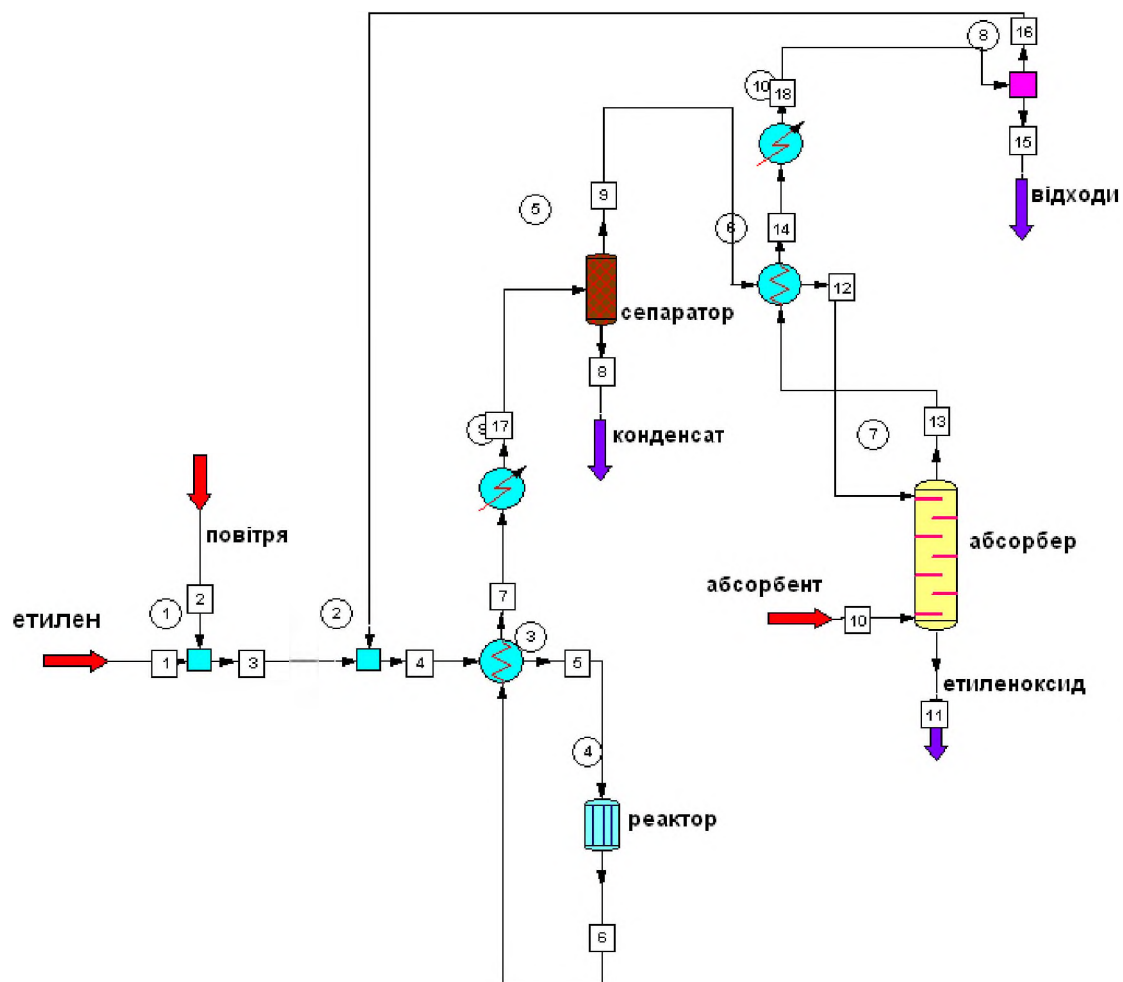


Рис.1. Схема процесу окису етилену на срібному каталізаторі (контактний вузол)
в ChemCad

Результати розрахунку матеріального балансу досліджуваного процесу наведено у таблиці.

Результати розрахунку матеріального балансу по потокам		
Речовина	Прихід, кг/год	Витрата, кг/год
C_2H_4	762,0	126,0
C_2H_4O	0	588,9
N_2	4467,0	4467,1
O_2	1357,0	266,0
CO_2	0	799,0
H_2O	17526,0	17865,0
Сума	24112,000	24112,000

Отримані результати розрахунків вказують на збіжність матеріального балансу.

ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЛІФТОВИХ КАНАТІВ

Марченко С. В., Нельга А. Т., Шульга В. В.

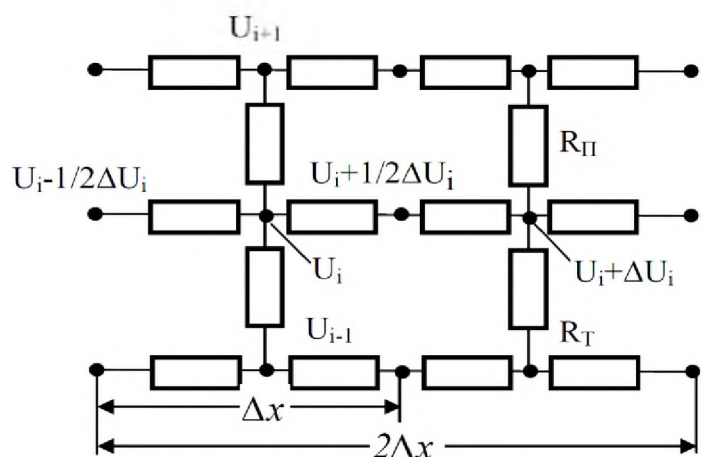
Дніпровський державний технічний університет, anelga0@gmail.com

Одним з найважливіших показників експлуатації ліфтів, призначених для перевезення пасажирів та/або вантажів, являються надійність і безпека їх роботи. Прийняті в практиці періодичні візуальний огляд і ручні інструментальні вимірювання не спроможні своєчасно надати об'єктивну інформацію оператору ліфту на прийняття необхідного рішення. Для створення системи діагностування в роботі вирішується задача, основними з яких є: визначення діагностичного параметру; отримання електричної моделі первинних даних, що характеризують тип пошкодження тросу; розробка алгоритму обробки вимірювальних даних та його реалізація самою системою.

Мета роботи. Вибір діагностичного параметру технічного стану ліфтових канатів і розробка на його основі надійної системи діагностування.

Матеріали і методи. При експлуатації ліфтів, з часом зменшується поперечний переріз канатів (тросів) системи підвішування кабіни, що знижує їхню міцність. Змінювання геометричних розмірів сталок тросів призводить до відхилень їх електричного опору [1, стор. 38]. Такий взаємозв'язок послужив вибору, в якості діагностичного параметру стану ліфтових канатів, інформації про змінювання значень електричного опору канатів (тросів) в їх окремих перерізах.

Результати та обговорення. Для побудови системи контролю стану тросів, як об'єкту діагностики, розглядається електрична модель, для чого канат представляється у вигляді системи провідників струму (тросів) канату [2, стор. 98]. Схему зі з'єднаних між собою провідників – тросів опором $2R_T$ на довжині Δx через полімерний матеріал опором $2R_P$ зображено на рисунку.



Електрична схема відрізків i-го та (i+1) тросів

Кожний провідник, крім крайніх, у системі представляється з'єднаним паралельно з двома суміжними провідниками іншими неперервними провідниками

струму, які визначали електропровідні властивості композитного матеріалу тросів. При цьому кожний канат представляється як окремий резистор.

Розподіл електричних потенціалів у канатах згідно закону Ома дає змогу визначити струми і опори. Аналіз змінювання значень опорів показав, що порив тросу приводить до змінювання опорів і інших тросів. При цьому приріст залежить від номера і місця пошкодження троса. Це дозволяє знаходити місце пошкодження тросів у канату.

Система діагностичного контролю стану тросів здійснює наступні операції: циклічне опитування опорів кожної пари тросів з ідентифікацією їх номерів; порівняння поточкових вимірних значень опорів з «нормованим» значенням, що відповідає нормальному стану контрольованого вузла; видачу результату порівняння «Розрив виявлений» або «Стан робочий»; формування сигналу на відключення електричного двигуна привода підйомної кабіни; визначення місця пошкодження, як функції змінювання електричних опорів, що замірялися між різними парами тросів.

Мінімальне значення електричного опору $R_{\min}$, який має контролюватися, визначається опором паралельно з'єднаних тросів:

$$R_{\min} = r_0 \frac{4L}{n\pi d^2 f},$$

де r_0 – питомий електричний опір металевих матеріалів троса; L – довжина троса; n – кількість тросів; f – коефіцієнт заповнення перерізу троса металом, який залежить від конструкції троса. Він становить 0,7...0,8.

Висновки. Обґрунтовано вибір діагностичного показника технічного стану канату ліфту, яким являється змінювання електричного опору сталок тросів. Зміни відносного зростання електричного опору лежать в межах 1... ∞ . За межу зміни відносного зростання електричного опору можна вважати інтервал 1...0. Відповідно контрольоване значення електричного опору становить (1...100) $R_{\min}$. При визначенні електричних параметрів тросового канату треба враховувати, що трос це система дротів. Для підведення напруги до тросів треба підвести її до усіх дротів. Останнє можна здійснити, спаявши дроти між собою.

1. Гуржій А. М. Електротехніка та основи електроніки : Підручник / А. М. Гуржій, С. К. Мещанінов, А. Т. Нельга, В. М. Співак. Київ : Літера ЛТД, 2021. 293 с.

2. Бельмас И. В., Нельга А. Т. Автоматическая диагностика тросов резинотросового каната // Научно-теоретический и практический журнал. Оралдын алым жарысы (Уральский научный вестник), №7 (13), 2008. с. 40–48.

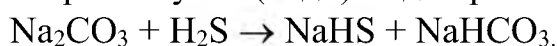
КОМБІНОВАНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ АБСОРБЦІЇ ПРИ ОЧИЩЕННІ ГАСУ ВІД СІРКИ

Голяк Н. І., Козаневич З. Я.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, nazargoliak@gmail.com

Очищення гасу (нафтопродукту з C_{8-16}) від сірки, наявність якої різко погіршує його властивості, включає декілька фізичних і хімічних процесів. Спочатку утворюється газо-сировинна суміш (ГСС) високого тиску, в склад якої входять свіжий гас у вигляді рідини, циркуляційна суміш з каталізатором, очищена від сірки, і водень H_2 як реагент. Ця ГСС після попереднього нагріву в теплообміннику та печі поступає в реактор, де внаслідок каталітичної гідратації утворюється пара сірководню H_2S як носій сірки.

Сепарація продуктів реакції на рідку (високо киплячі вуглеводні ВКВ в суміші з каталізатором) і газову (H_2S і низькокиплячі вуглеводні НКВ) фракції розділяє їх на два потоки. Рідка фракція входить в ГСС, а з газової абсорбується H_2S розведеним розчином карбонату Na (соди) згідно реакції



При наступній регенерації цього розчину нагріванням реакція йде в зворотному напрямі з утворенням газу H_2S , який є сировиною для каталітичного отримання сірчаної кислоти, і регенованого адсорбента – розчину Na_2CO_3 .

Таким чином небажана сірка в процесі очищення гасу перетворюється на сировину для отримання сірчаної кислоти, що вітається як ресурсозбереженням, так і екологією. Тому процесу абсорбції сірководню як технологічного об'єкту керування (ТОК) приділяється особлива увага.

Процес масопередачі в абсорбері відбувається в два етапи. На першому відбувається абсорбція H_2S пограничним шаром розчину, а на другому – наведена вище хімічна реакція. Швидкість цієї реакції є значно більшою за швидкість абсорбції H_2S розчином, тому лімітуючим весь процес фактором є швидкість абсорбції H_2S розчином і вона визначає швидкість масопередачі. Розрахункова схема об'єкту наведена на рис.1

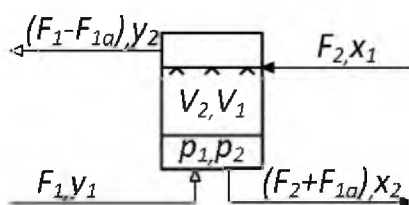


Рис.1. Розрахункова схема абсорбції сірководню розчином соди:

F_1, F_2 – витрати газу і розчину, x_1, x_2 – концентрації H_2S в розчині на вході і виході з абсорбера, y_1, y_2 – концентрації H_2S в газі на вході та виході з абсорбера, V_1, V_2 – об'єми абсорбера, зайняті газом і розчином, ρ_1, ρ_2 – густини газу і розчину

Процес абсорбції H_2S водним розчином соди як ТОК має дві ємності акумулювання H_2S : газову фракцію продукту реакції, що подається внизу абсорбера і

виводиться в його верхній частині, і розчин соди, який поступає в верхню частину абсорбера і виводиться знизу разом з солями NaHS і NaHCO_3 .

Математична модель абсорбції H_2S розчином соди базується на рівняннях балансів компонента H_2S в кожній з цих ємностей акумулювання H_2S :

$$F_1 y_1 - (F_1 - F_{1a}) y_2 - F_{1a} = V_1 \rho_1 \frac{d}{dt} \left(\frac{y_1 + y_2}{2} \right), \quad (1)$$

$$F_2 x_1 - (F_2 + F_{1a}) x_2 + F_{1a} = V_2 \rho_2 \frac{d}{dt} \left(\frac{x_1 + x_2}{2} \right), \quad (2)$$

де $F_{1a} = SK_1 \frac{(y_1 - y_r(x_2)) + (y_2 - y_r(x_1))}{2} = SK_1 \frac{(y_1 - m x_2) + (y_2 - m x_1)}{2}$, $m - \text{const}$ Генрі.

Регульована величина – концентрація H_2S в розчині на виході з абсорбера x_2 , збурення – витрата газу F_1 , керування – витрата розчину соди F_2 . З системи рівнянь (1) – (2) знайдені передавальні функції $W_{F_2 x_2}(p)$ за каналом керування $F_2 \rightarrow x_2$ та $W_{F_1 x_2}(p)$ за каналом збурення $F_1 \rightarrow x_2$:

$$W_{F_2 x_2}(p) = -K_{F_2 x_2}(T_1 p + 1) / [(T_1 p + 1)(T_2 p + 1) - K_{x_2 y_2} \cdot K_{y_2 x_2}]; \quad (3)$$

$$W_{F_1 x_2}(p) = K_{F_1 y_2} \cdot K_{y_2 x_2} / [(T_1 p + 1)(T_2 p + 1) - K_{x_2 y_2} \cdot K_{y_2 x_2}], \quad (4)$$

де $T_1 = V_1 \rho_1 / 2A$; $T_2 = V_2 \rho_2 / 2A$; $K_{F_1 y_2} = (y_{10} - y_{20}) / A$; $K_{x_2 y_2} = (1 - y_{20}) SK_1 m / 2A$; $K_{F_2 x_2} = x_{20} / B$; $K_{y_2 x_2} = (1 - x_{20}) SK_1 / 2B$; $A = [F_{10} - F_{1a0} + (1 - y_{20}) SK_1 / 2]$; $B = [F_{10} + F_{1a0} + (1 - x_{20}) SK_1 m / 2]$.

Комбінована система регулювання, що працює за обома принципами регулювання (за відхиленням і за збуренням) забезпечує інваріантне регулювання параметру по відношенню до вимірюного збурення завдяки введенню додаткової динамічної ланки – динамічного компенсатора ДК. Якщо сигнал з ДК поступає на вхід об'єкта, то необхідною і достатньою умовою інваріантності є можливість фізичної реалізації ДК з передавальною функцією $W_k(p)$, яка залежить тільки від властивостей ТОК. Тут (3) і (4) дають

$$W_k(p) = -W_{F_1 x_2}(p) / W_{F_2 x_2}(p) = -K_{F_1 y_2} \cdot K_{y_2 x_2} / K_{F_2 x_2}(T_1 p + 1) \quad (5)$$

ДК з передавальною функцією (5), що є аперіодичною ланкою 1-го порядку, яка може бути фізично реалізованою в складі програмного забезпечення АСКТП чи КІТ з використанням дискретного аналога інтеграла Дюамеля-Карсона.

Фрагмент спрощеної схеми автоматизації з комбінованою системою регулювання концентрації сірководню, інваріантної до витрати газової суміші, наведена на рис. 2.

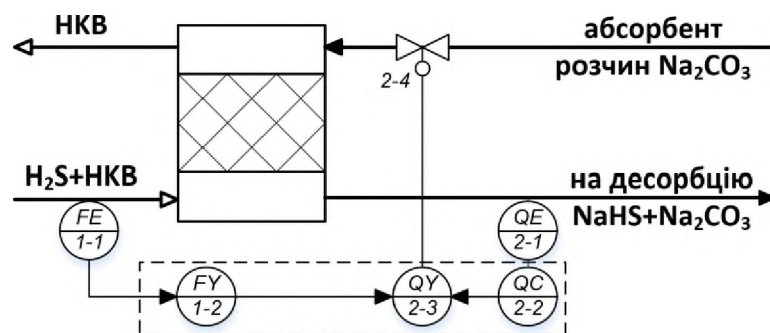


Рис.2. Фрагмент спрощеної схеми автоматизації з комбінованою системою регулювання:

FE , QE – датчики витрати і концентрації; FY – динамічний компенсатор;

QC – регулятор концентрації; QY – суматор

Елементи, обведені штриховою лінією, реалізуються в складі програмного забезпечення АСКТП або КІТ.

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТОЧНІСТЮ МІКРОПЕРЕМІЩЕНЬ ПРЕДМЕТНОГО СТОЛИКА МІКРОСКОПА

Денисюк В. Ю., Кравчук О. О.

Луцький національний технічний університет, v.denysiuk@lnu.edu.ua

У системах керування взаємним позиціонуванням досліджуваного об'єкта або заготовки з робочим органом тестового, виробничого обладнання або інструментом важливу роль грають сучасні виконавчі механізми – актюатори для мікро- та нанопозиціонування, побудовані на різних принципах дії. Від їх точності в основному залежить ефективність функціонування систем керування і точність позиціонування об'єктів. Багатокоординатні системи точного позиціонування часто використовуються в сучасній медичній і біологічній техніці. Вони призначені для переміщення і встановлення в певному положенні мікрооб'єкту в поле зору мікроскопа. Системи позиціонування можуть відрізнятися своєю конструкцією і дозволяють переміщати мікрооб'єкт по вертикалі, горизонталі і здійснювати поворот мікрооб'єкту на певний кут з високою точністю [1, 2].

На рис. 1 зображено схему керування двокоординатного столика мікроскопа. Вона містить цифрову і аналогову частини: блоки пристрою керування, блоки приводів на базі біморфних п'єзоактюаторів (БПА) і допоміжні блоки. Блоки пристроїв керування включають контролери, панель оператора, ЦАП і АЦП, підсилювачі та датчики зворотного зв'язку (ємнісні). Допоміжні блоки складаються з блока електроавтоматики та блока живлення. Блок електроавтоматики забезпечує електроенергією комп'ютер і блок живлення.

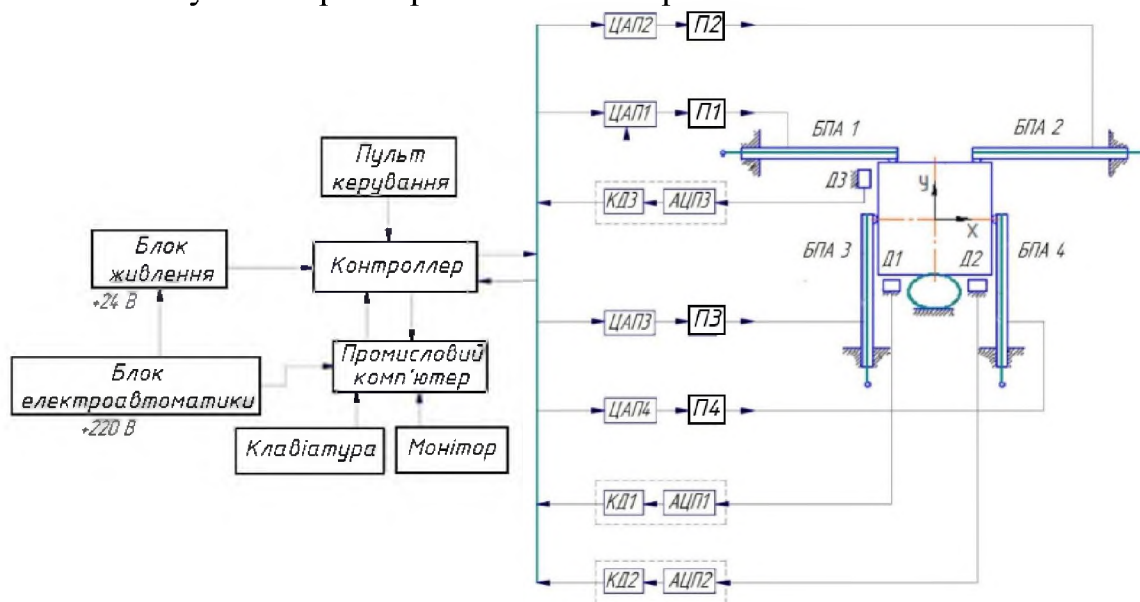


Рис. 1. Схема системи керування модуля точних переміщень столика: Д1-Д3 – ємнісні датчики переміщення; КД1-КД3 – контролери датчиків; ЦАП1-ЦАП4 – цифро-аналогові перетворювачі; АЦП1-АЦП3 – аналого-цифрові перетворювачі; П1-П4 – підсилювачі

Від промислового комп'ютера сигнал через перехідник USB-COM подається на контролер. Від контролера сигнали через ЦАП1-ЦАП4 і підсилювачі П1-П4 по-

даються на БПА1-БПА4. Сигнали з ємнісних датчиків переміщень Д1-Д3 використовуються у колі зворотного зв'язку за положенням. Для переводу з аналогової форми в цифрову використовуються АЦП1-АЦП 3. Покази датчиків (Д1, 2, 3) через АЦП1, 2, 3 і контролери датчиків (КД1, 2, 3) надходять в систему керування, яка при кутовому відхиленні столика повертає його в положення, перпендикулярне початковому положенню. Це необхідно для забезпечення плоскопаралельного руху по осях X і Y з заданою точністю. За допомогою пульта керування, що має зв'язок з контролером, оператор вмикає/вимикає столик і задає необхідні програми.

Для керування переміщенням були обрані ємнісні датчики AD7746 фірми Analog Device. В основі принципу дії ємнісних датчиків переміщень предметного столика лежить залежність ємності датчика від відстані між обкладинками конденсатора, утвореного плоскими електродами датчика. Для того, щоб не підводити електричні дроти до столика, який рухається, в мехатронному модулі застосовані ємнісні датчики з трьома електродами на основі послідовного з'єднання конденсаторів.

На рис 2 наведено графік залежності відстані між обкладинками конденсатора h від ємності конденсатора C , з якого видно, що відстань між обкладинками конденсатора повинна варіюватися від 0,106 мм до 0,606 мм.

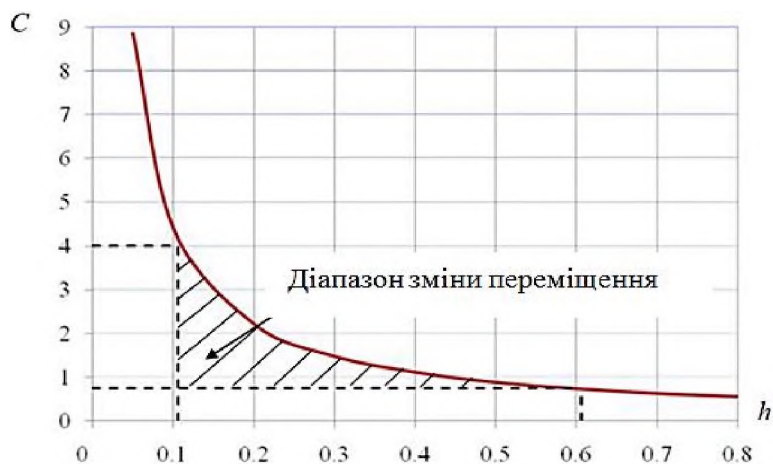


Рис. 2. Залежність відстані між обкладинками (мм) від ємності датчика (пФ)

Таким чином, для зазначених розмірів обкладок датчика мінімальний зазор між ними повинен становити не менше 0,1 мм. Точність ємнісного датчика залежить від множини факторів, одним з головних є точність перетворення аналогового сигналу в цифровий за допомогою контролера ємнісного датчика AD7746, який має 24-розрядний АЦП. Таким чином, похибка перетворення сигналів становить $1/2^{24}$. Похибка вимірювання переміщення в околиці мінімального зазору між обкладинками 0,1 мм складає $0,1 \times 1/2^{24} = 5,96 \times 10^{-9}$ мм. Це значення похибки задовольняє поставленим завданням. Система керування модуля точних переміщень столика з БПА забезпечує його ефективне функціонування в автоматичному і ручному режимах.

1. Артюх О. М., Дударенко О. В., Кузьмін В. В., Сосик А. Ю., Щербина А. В. Основи мехатроніки: навч. посіб. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. 372 с.

2. Денисюк В. Ю., Симонюк В. П., Лапченко Ю. С., Тимошук А. А., Черняк С. О. Аналіз систем мікропереміщень для маніпулювання мініатюрними об'єктами. «Теоретичні і експериментальні дослідження в сучасних технологіях матеріалознавства та машинобудування»: зб. матер. VIII Міжнар. наук.-техн. конф., м. Луцьк, 25–28 трав. 2021 р. Луцьк, 2021. С. 25–27.

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО ЛІНІЙНОГО ЗАКОНУ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЕТЕРИФІКАЦІЇ

Котелевич І. С., Ладієва Л. Р.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, kotelevych.2003@gmail.com

Оптимальне керування процесом етерифікації є актуальним напрямом у хімічній промисловості. Ефіризатор, поєднаний з ректифікаційною колоною, забезпечує реакцію та подальше розділення продуктів. Мета оптимального керування – забезпечення оптимального температурного режиму процесу при зниженні енерговитрат.

Об'єкт керування включає подавання суміші етанолу, оцтової кислоти та сірчаної кислоти до ефіризатора, де перебігає реакція. Керувальний вплив – витрата водяної пари; регульовальна величина – температура в реакторі.

Критерій оптимальності

$$I = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} [q(\theta_k - \theta_{k3})^2 + rG_n^2] dt \rightarrow \min,$$

де θ_k – температура кубового залишку; θ_{k3} – задана температура кубового залишку; G_n – витрата нагрівальної пари; q, r – вагові коефіцієнти.

Динаміку об'єкта описано в просторі станів і має такий вигляд:

$$x' = Ax + Bu, \quad y = Cx + Du$$

де

$$A = [0 \ 1; -0,0099 \ -0,2504], \quad B = [0; 1], \quad C = [5,009 \ 0], \quad D = 0.$$

Для синтезу лінійного оптимального регулятора використано принцип максимуму. Виведені матричне диференціальне нелінійне рівняння Ріккаті.

Задачу оптимального керування розв'язано в середовищі MATLAB*. Отримано траєкторії змінних стану та оптимальний керувальний вплив, що мінімізує інтегральний функціонал.

Для синтезу оптимального лінійного регулятора використано алгебраїчне матричне рівняння Ріккаті:

$$A^T P + P A - P B R^{-1} B^T P + Q = 0.$$

Оптимальний лінійний закон керування визначається за формулою:

$$u = -Kx, \quad K = R^{-1} B^T P,$$

$$u(t) = -r^{-1} (p_{21} x_1 + p_{22} x_2).$$

Графіки оптимального закону зміни температури кубового залишку та грійної пари представлено на рис. 1 і 2.

* Ладієва Л. Р. Оптимальне керування системами.: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» Електронне видання КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019, 162 с.

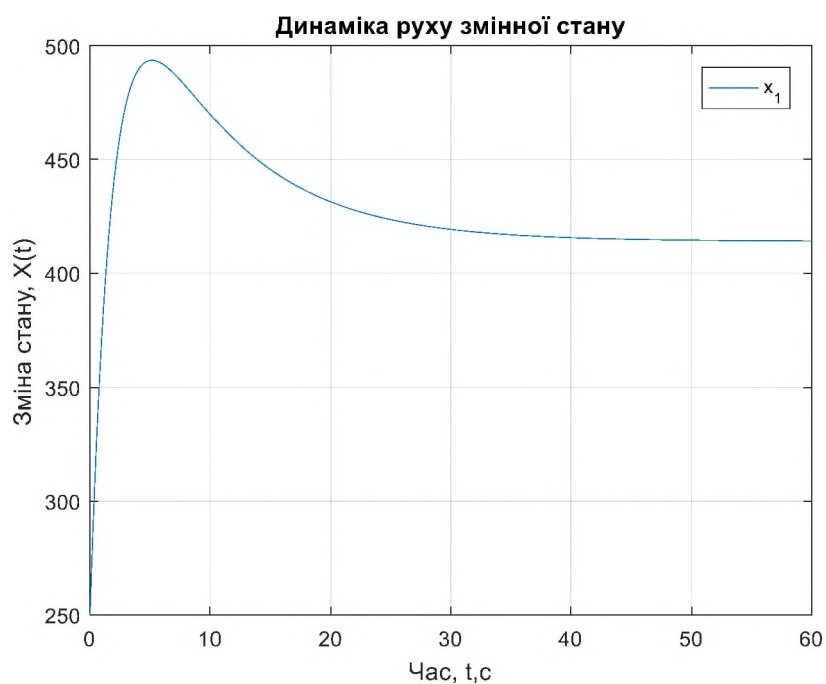


Рис. 1. Графік перехідної характеристики оптимальної зміни температури кубового залишку

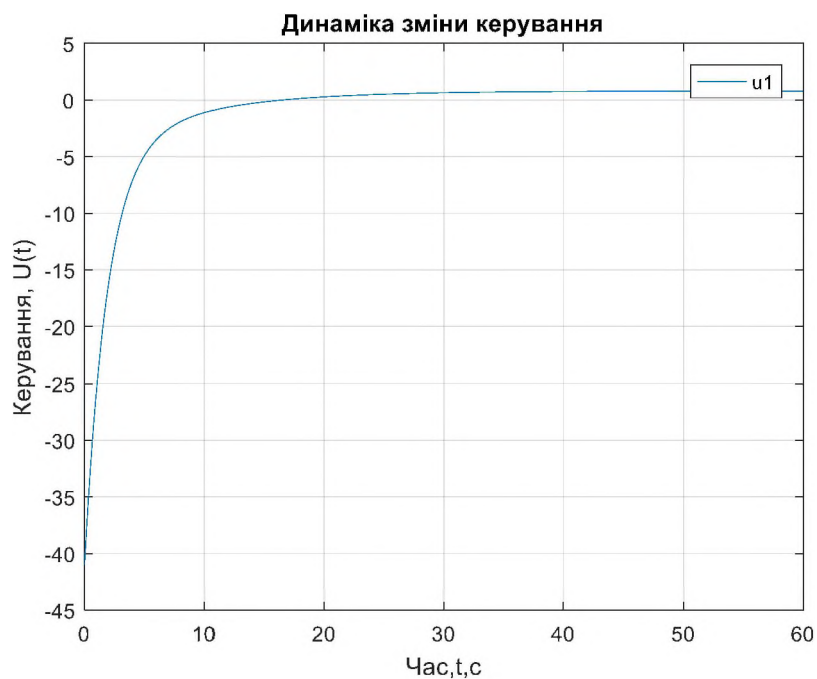


Рис. 2. Графік зміни оптимального закону грійної пари

Висновки

Розроблена система оптимального керування ефіризатором забезпечує ефективне оптимальне керування температурою кубового залишку, стабільну роботу та забезпечує мінімізацію витрат. Але у разі постійних чи повільно змінюваних вхідних впливів такі регулятори не забезпечують вимог забезпечення нульових відхилень регульованих величин від заданих значень.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ РУХУ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ У ВИРОБНИЧОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Носов А. О., Коржик М. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, korzhyk@kpi.ua

Сучасний етап розвитку промислового виробництва характеризується активним впровадженням мобільних роботів, що функціонують у динамічному середовищі, де постійно змінюється конфігурація перешкод та переміщуються різноманітні об'єкти. Мобільні робототехнічні системи стають невід'ємною частиною сучасних виробничих комплексів, забезпечуючи гнучкість та адаптивність виробничих процесів. Однак їх ефективне функціонування потребує розробки складних алгоритмів керування, здатних враховувати специфіку динамічного виробничого середовища. Ключовою проблемою є необхідність одночасної оптимізації суперечливих критеріїв: енергоспоживання вимагає уникнення різких маневрів та вибору оптимальних швидкісних режимів; мінімізація часу потребує вибору найкоротших шляхів та підтримання максимально допустимої швидкості; забезпечення безпеки часто вимагає додаткових маневрів, зниження швидкості та зупинок при появі людей чи інших динамічних об'єктів. Особливу складність представляє необхідність взаємодії мобільних роботів з людьми у спільному робочому просторі, оскільки виробничий персонал може переміщуватися непередбачуваним чином.

Існуючі реактивні методи навігації, такі як метод потенціальних полів та векторного поля гістограм, базуються на принципі миттєвого реагування на зміни в навколишньому середовищі. Вони не мають механізмів прогнозування руху динамічних об'єктів, що призводить до неоптимальних маневрів та підвищеного енергоспоживання. Планувальні методи (A^* , D^* , D^* Lite), хоча й забезпечують знаходження оптимальних маршрутів у статичному середовищі, неефективні в динамічних умовах через необхідність частого перепланування та високу обчислювальну складність. Методи машинного навчання, особливо глибоке навчання з підкріпленням, страждають від нестабільності поведінки в нових ситуаціях та складності інтерпретації прийнятих рішень. Жоден із існуючих підходів не забезпечує комплексного вирішення проблеми багатокритеріальної оптимізації руху в умовах невизначеності [1].

На основі аналізу існуючих підходів формулюється фундаментальна науково-прикладна проблема: відсутність цілісного методологічного підходу до створення систем навігації мобільних роботів, здатних одночасно оптимізувати енергоспоживання, час виконання завдань та безпеку руху в динамічному виробничому середовищі. Проблема має багатовимірний характер та включає взаємопов'язані аспекти: невизначеність динамічного середовища через непередбачуваність руху людей та обладнання; суперечливість критеріїв оптимізації через конфлікт між вимогами енергоефективності, швидкодії та безпеки; обчислювальну складність через необхідність прийняття рішень у реальному часі; адаптивність через потребу в автоматичному налаштуванні параметрів керу-

вання при зміні умов експлуатації [2]. Для вирішення сформульованої проблеми пропонується комплексний підхід, що базується на інтеграції генеративних моделей прогнозування та глибинного навчання з підкріпленням для багатокритеріальної оптимізації траєкторій руху. Запропонований підхід інтегрує три ключові компоненти: модуль проактивного прогнозування на основі генеративних моделей з архітектурою трансформера, який передбачає зміни у середовищі на різних часових горизонтах [3]; модуль багатокритеріальної оптимізації на основі глибинного навчання з підкріпленням, який використовує результати прогнозування для оптимізації траєкторії за трьома критеріями; модуль адаптивного керування, який автоматично налаштовує пріоритети різних цілей залежно від конкретної ситуації та специфіки виконуваних завдань [4].

Для формалізації та вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації використовується математичний апарат теорії оптимального керування. Цільова функція формулюється як зважена сума винагород за різними критеріями, з динамічно адаптованими ваговими коефіцієнтами:

$$J(\pi) = E_{\pi} \left[\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t (\alpha_E(t) \cdot r_E(s_t, a_t) + \alpha_T(t) \cdot r_T(s_t, a_t) + \alpha_S(t) \cdot r_S(s_t, a_t)) \right],$$

де γ – дисконтний множник; $\alpha_E(t)$, $\alpha_T(t)$, $\alpha_S(t)$ – адаптивні вагові коефіцієнти, що залежать від ситуації; $r_E(s_t, a_t)$, $r_T(s_t, a_t)$, $r_S(s_t, a_t)$ – винагороди за енергоефективність, час і безпеку відповідно.

Інноваційність запропонованого методу полягає у динамічному перерозподілі пріоритетів критеріїв навігації залежно від змінюваних умов. Використовується мета-навчання для швидкої адаптації до нових умов експлуатації [4]. Очікується, що запропонований підхід може значно покращити ефективність роботи мобільних роботів, зокрема, суттєво зменшити енергоспоживання, скоротити час виконання завдань та знизити ризик аварійних ситуацій порівняно з традиційними методами керування [1, 2]. Подальші дослідження включатимуть експериментальну валідацію підходу в різних виробничих сценаріях, перевірку масштабованості та інтеграцію з існуючими системами керування [3, 4].

1. Rubio F., Llopis-Albert, C., & Valero, F. (2021). Multi-objective optimization of costs and energy efficiency associated with autonomous industrial processes for sustainable growth. *Technological Forecasting and Social Change*, 173, 121115.

2. Cheng C.-L., Hsu, C.-C., Saeedvand, S., & Jo, J.-H. (2024). Multi-objective crowd-aware robot navigation system using deep reinforcement learning. *Applied Soft Computing*, 151, 111154.

3. Zhao H., Gao J., Lan T., Liu C., & Lin H. (2020). Learning to predict dynamic environments for robot navigation. *Proceedings of the 4th Conference on Robot Learning*, PMLR 155, 900–909.

4. Chen J., Liu B., Sun S., & Wang X. (2020). Learning transferable meta-model for dynamic environments. *Proceedings of the 4th Conference on Robot Learning*, PMLR 155, 1641–1652

АВТОМАТИЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ГІДРОКРЕКІНГУ З ПСЕВДОЗРІДЖЕНИМ ШАРОМ КАТАЛІЗАТОРА

Пухняк М. Б., Ситніков О. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, o.sitnikov@kpi.ua

Автоматичний контроль в установці гідрокрекінгу з псевдозрідженим шаром каталізатора відіграє важливу роль у забезпеченні ефективності та безпеки процесу. Завдяки використанню передових технологій автоматизації, ця установка здатна самостійно контролювати та регулювати різні параметри, що впливають на якість і виходи продуктів гідрокрекінгу [1].

Автоматичний контроль забезпечує постійне відстеження та корекцію таких параметрів, як температура, тиск, витрати реагентів і каталізатора, що дозволяє досягти оптимальних умов роботи установки та максимізувати виробничу ефективність. Крім того, він допомагає запобігти можливим аварійним ситуаціям, забезпечуючи надійну та безпечну роботу установки гідрокрекінгу з псевдозрідженим шаром каталізатора [2].

Схема автоматичного контролю в установці гідрокрекінгу з псевдозрідженим шаром каталізатора включає в себе ряд контурів забезпечення контролю і сигналізації:

- температури газосировинної суміші в реакторі та трубопроводі;
- температури гідрогенізату в печі;
- витрати сировини в трубопроводі, що входять до змішувача.

Розглянемо задачі проектування, які виникають у процесі реалізації досліджуваної системи автоматизації.

Схема автоматизації передбачає наявність щита керування, тож постає задача проектування щитової конструкції.

Аналіз технологічного процесу і розробка схеми автоматизації процесу системою аварійного захисту та технологічним блокуванням.

Розробка принципової схеми дистанційного керування електромоторами і електроустаткуванням технологічного процесу.

Таким чином, сформовано основні задачі, що підлягають реалізації у вигляді проекту автоматизації установки гідрокрекінгу з псевдозрідженим шаром каталізатора.

1. Лукінюк М. В. Технологічні вимірювання та прилади [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. К.: НТУУ «КПІ», 2007. 436 с. : іл. 200 пр. ISBN 978-966-622-247-6.
2. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напрямом «Автоматизація і комп'ютер.-інтегр. технології. К.: НТУУ «КПІ», 2008. 236 с. : іл. 200 пр. ISBN 978-966-622287-2..

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВИРОЩУВАННЯ МОНОКРИСТАЛІВ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

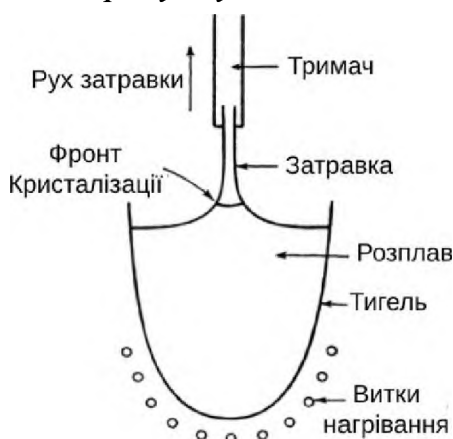
Лук'янов Д. О., Тюріна Є. О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, david.lukyanoff@gmail.com

Метод Чохральського є ключовим для вирощування великих монокристалів кремнію, германію, сапфіру, арсеніду галію з низькою собівартістю, рівномірним розподілом домішок і внутрішніх напруг у вирощувальному кристалі [1]. Монокристали широко застосовують у промисловому виробленні напівпровідникових схем. Так, монокристали металів та сплавів можуть мати підвищену міцність, їх використовують у машинобудуванні, монокристали із прозорих матеріалів застосовують в оптиці та ювелірній справі.

Процес супроводжується суттєвою нелінійністю через сильну залежність швидкості росту кристалу від температурного градієнта на межі поверхні розплаву та фронту кристалізації, радіальну теплопровідність та конвекційні потоки в розплаві (виражено, зокрема, в системі рівнянь теплового переносу, Нав'є-Стокса і кристалізаційної кінетики) [1]. Створення універсальних схем контролю й керування з модернізацією установок, що дозволить врахувати нелінійну взаємодію між температурним полем, швидкістю витягування та формою фронту кристалізації, є актуальним завданням у матеріалознавстві та напівпровідниковій промисловості [1, 2].

Метою дослідження є формування підходу до керування процесами утворення розплаву та його кристалізації, що забезпечить стабілізацію параметрів процесу вирощування кристалу і належний ступінь якості продукту. Технологічну схему процесу наведено на рисунку.



Технологічна схема камери з тиглем для вирощування монокристалів методом Чохральського [1]

Метод Чохральського передбачає кристалізацію матеріалу з розплаву в герметичній камері. У тигель із розплавленою сировиною занурюють штифт із затравкою, який слугує центром кристалізації. Для стабілізації температурного градієнта та напруг штифт і тигель обертаються в горизонтальній площині [1]. Процес проходить при температурі від 1200 до 2000 К в інертному газовому

середовищі. Після стабілізації умов розпочинається витягування розплаву, що призводить до його кристалізації навколо затравки при поступовому охолодженні. Тривалість процесу від декількох до десяти діб [1, 2].

Для одночасного вирішення проблеми засмічення розплаву продуктами термічних реакцій зі стінками тигля та створення сталих умов для регулювання й автоматизації, доцільно застосувати схему з безконтактним індуктивним нагрівом у зоні, меншій за об'єм тигля, попередньо вкритого реактивною плівкою (наприклад, нітридами, карбідами або тугоплавкими оксидами: Si_3N_4 , AlN , ZrO_2 , Y_2O_3) [2], яка утворює хімічно інертний захисний шар; це дозволяє забезпечити тепловідвід від стінок, підтримувати сталий об'єм розплаву та багаторазово проводити процес вирощування монокристалу, що, у поєднанні зі змінним магнітним полем, зменшує турбулентність і сприяє рівномірному розподілу температури та домішок, відкриває додаткові можливості для автоматизації процесу та покращення якості продукту.

Таким чином, для ефективного керування процесом вирощування монокристалів запропоновано використовувати такий підхід:

- використання індукційного нагріву, що дозволяє локалізувати джерело тепла, зменшуючи варіативність температурного поля, що дозволить розглядати об'єкт з лінійним розподілом температур при його моделюванні;
- застосування реакційно-інертного покриття тигля стабілізує хімічне середовище, усуває реакції утворення оксидів і вплив змінних домішок, що зменшує флуктуації параметрів кристалізації у часі;
- введення додаткових контурів теплообміну дозволяє більш точно керувати температурним градієнтом на межі фаз для формування сталого фронту кристалізації;
- неперервне живлення розплаву забезпечує стабільність рівня в тиглі, що усуває нелінійності, пов'язані з коливанням теплової ємності системи;
- застосування змінного магнітного поля згладжує турбулентні потоки, зменшує стохастичність конвекції і, відповідно, вплив збурень на кристалізацію [3, 4].

У результаті це дозволить спростити модель процесу, зменшити кількість зворотних зв'язків, забезпечити стійкість у замкненому контурі та застосувати типові системи автоматизації процесами утворення розплаву та його кристалізації.

1. Гранкін С. С. Застосування методів напрямленої кристалізації для отримання нових матеріалів. Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Харків. УДК 542.65.

2. Handbook of Crystal Growth. Volume 2: Bulk Crystal Growth. NORTH-HOLLAND, 1994.

3. Rudolph P., Kakimoto K. Crystal Growth from the Melt under External Force Fields. MRS Bulletin, 2009, 34(4), p. 251-258.

4. Duffar T. Magnetic Fields in Crystal Growth. Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials, 2013, 59(1), p. 13-49.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА МИЛЬНИХ ТА ВУГЛЕВОДНИХ МАСТИЛ ПЕРІОДИЧНИМ СПОСОБОМ

Стороженко П. О., Плашихін С. В., Лукінюк М. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, storozenkopasha@gmail.com

Автоматизація технологічних процесів охоплює системи автоматичного контролю параметрів, регулювання та керування – як у повністю автоматичному, так і в автоматизованому режимі. Вона також забезпечує безпеку керованих процесів, вчасне попередження про відхилення від встановлених режимів роботи та захист навколишнього середовища від можливих негативних впливів*.

Розробка схеми автоматизації процесу виробництва мильних та вуглеводних мастил періодичним способом є актуальною задачею, яка дозволить підвищити якість мастил, контролюючи параметри в заданих межах та швидко реагуючи на відхилення від норми, що важливо для забезпечення стабільності процесу.

Зображена на рисунку схема автоматизації містить такі контури контролю та регулювання.

Контур 1. Призначення контуру – інформування оператора про значення рівня оливи в резервуарі. До контуру входять такі засоби автоматизації: вимірний пневматичний перетворювач рівня УБ-ПВ (поз. 1-1), вихідні сигнали якого подаються на пневматичний показувальний і реєструвальний прилад ПКР.1 (поз. 1-2).

Контур 2. Призначення контуру – інформування оператора про значення витрати оливи в трубопроводі на вході в реактор. До контуру входять такі засоби автоматизації: перетворювач витрати електромагнітний (індукційний) ПРЕМ-2 (поз. 2-1), вихідні сигнали якого (вихідний інтерфейс RS-485) подаються на індикатор технологічний мікропроцесорний ІТМ-11В (поз. 2-2).

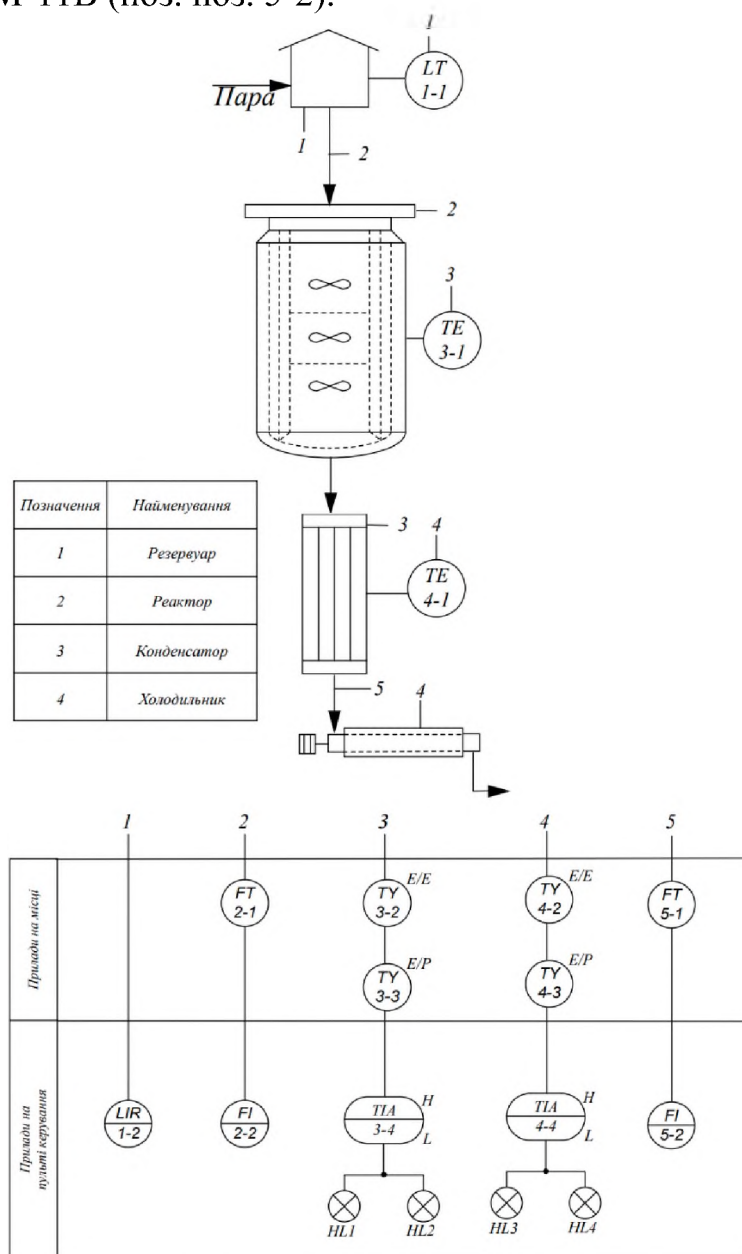
Контур 3. Призначення контуру – інформування оператора про значення температури оливи в реакторі. До контуру входять такі засоби автоматизації: термоперетворювач опору платиновий (поз. 3-1), вихідні сигнали якого через нормувальний перетворювач НПМ-15 (поз. 3-2) та електропневматичний перетворювач МТМ 810 (поз. 3-3) надходять на пневматичний вторинний показувальний прилад ПКП.1Е (3-4) із вбудованим пристроєм сигналізації.

Контур 4. Призначення контуру – інформування оператора про значення температури речовини в конденсаторі. До контуру входять такі засоби автоматизації: термоперетворювач опору платиновий (поз. 4-1), вихідні сигнали якого через нормувальний перетворювач НПМ-15 (поз. 4-2) та електропневматичний перетворювач

* Лукінюк М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами: у 2 кн. Кн.1. Методи та технічні засоби автоматичного контролю хіміко-технологічних процесів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом підготовки : «Хімічна технологія та інженерія» Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 336 с. ISBN 978-966-622-530-9.

МТМ 810 (поз. 4-3) подаються на пневматичний вторинний показувальний прилад ПКП.1Е (4-4) із вбудованим пристроєм сигналізації.

Контур 5. Призначення контуру – інформування оператора про значення витрати в трубопроводі на вході в холодильник. До контуру входять такі засоби автоматизації: перетворювач витрати електромагнітний ПРЕМ-2 (поз. 5-1), вихідні сигнали якого (вихідний інтерфейс RS-485) подаються на індикатор технологічний мікропроцесорний ІТМ-11В (поз. поз. 5-2).



Фрагмент схеми автоматизації процесу виробництва мильних та вуглеводних мастил періодичним способом: 1 – резервуар; 2 – реактор; 3 – конденсатор; 4 – холодильник

В процесі реалізації зображеної на схемі система автоматизації виникає задача проєктування щитової конструкції та розроблення математичної моделі процесу виробництва мильних та вуглеводних мастил періодичним способом.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ ІЗ СІРКОВОДНЮ

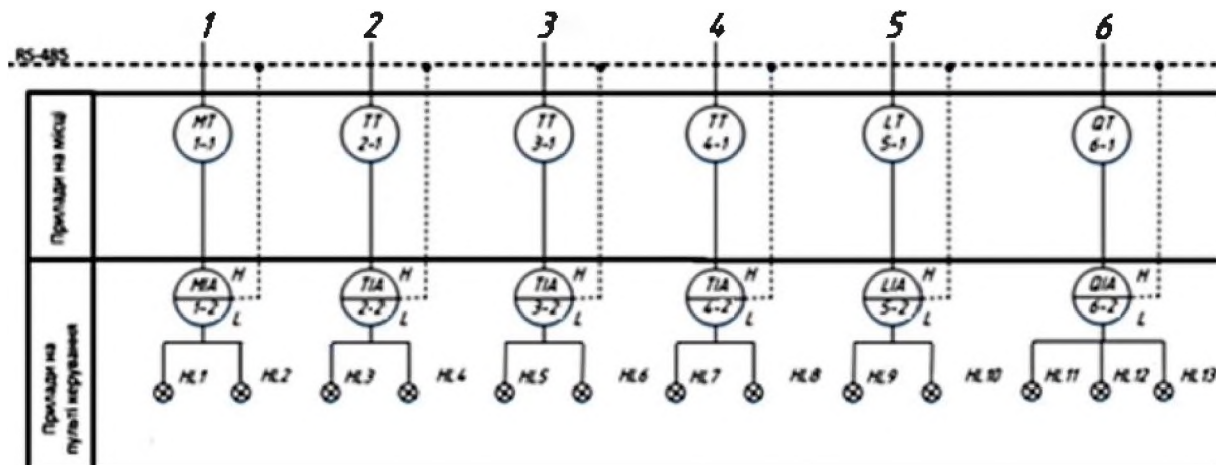
Юхимович А. М., Ситніков О. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, o.sitnikov@kpi.ua

Автоматизація технологічного виробництва охоплює автоматичний контроль технологічних параметрів, автоматичне регулювання, а також автоматизоване або повністю автоматичне керування процесами.

Окрім цього, вона забезпечує захист керованих процесів від аварій, своєчасну сигналізацію про відхилення від нормальних режимів роботи та сприяє охороні навколишнього середовища*.

Розроблена схема автоматизації складається з шести контурів контролю та інформування оператора про значення:

- відстоєнного від води і захопленого моноетаноламіну сірководневого газу;
- температури сірководню, що надходить з приймача-волововіддільника у печі;
- температури охолодження діоксиду вуглецю в котлі-утилізаторі;
- температури водяної пари в деаераторі;
- рівня водяної пари в деаераторі;
- концентрації діоксиду сірки на виході з топки печі.



Пульт керування схеми автоматизації виробництва сірчаної кислоти із сірководню

В роботі наведено конкретні задачі та засіб їх реалізації при створенні схеми автоматизації процесу виробництва сірчаної кислоти із сірководню.

* Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології. Київ: НТУУ «КПІ», 2008. 236 с. ISBN 978-966-622-287-2.

ОПТИМАЛЬНЕ ПРОГРАМНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА ЕТАНОЛУ ГІДРОЛІЗОМ ДЕРЕВИНИ

Пелипенко Н. С., Ладієва Л. Р.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, nazardeutsch@gmail.com

Дослідження методів оптимального управління процесом виробництва етанолу шляхом гідролізу деревини є надзвичайно важливим, оскільки до цього часу не сформовано єдиної методології для моделювання складного багатокomпонентного процесу гідролізу, а також не вирішено завдань на основі лінійного регулятора. Більшість сучасних досліджень зосереджено на вивченні кінетики кислотного гідролізу деревини та створенні моделей, які описують процеси перетворення полісахаридів у моносахариди. Однак такі моделі враховують лише фіксовані характеристики сировини і не беруть до уваги можливі зміни її складу.

Основною перевагою саме методу гідролізу у виробництві етанолу — полягає в тому, що за його допомогою відбувається контроль кількості моносахаридів та полісахаридів в гідролізаті. Гідроліз-апарат призначений для проведення хімічної реакції гідролізу між сировиною та сульфатною кислотою з концентрацією 0,5 %. Процес здійснюється у герметичній системі, де використовується пара для нагрівання до необхідної температури – 180 °С. Такий температурний режим забезпечує інтенсифікацію реакції, в результаті якої полісахариди сировини розщеплюються до моносахаридів.

Основна мета оптимального програмного керування полягає у забезпеченні стабільності заданої концентрації моносахаридів у гідролізаті та підтриманні необхідної температури в гідроліз-апараті, одночасно зводячи до мінімуму витрати нагрітої пари. Для цього пропонується використати інтегрально-квадратичний критерій якості:

$$I = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} [Q(X_m - X^{zd}_m)^2 + \frac{1}{2} r \cdot F_c^2] dt \rightarrow \min$$

де Q, r – вагові коефіцієнти.

Для обрахунку оптимального керування застосуємо метод функцій штрафів при градієнтному способі пошуку екстремуму у функціональному просторі для обчислення при переводі нелінійної системи $F_{c \min} \leq F_c \leq F_{c \max}$ у стан $X_m(t_f) = X^{zd}_m(t_f)$ за мінімальний час.

Введемо Гамільтоніан:

$$H = 0,5S_{22}(X_m - X^{zd}_m)^2 + 0,5F_c^2 + \lambda_1(a_{11}\Delta\theta_m + a_{12}\Delta X_m + b\Delta F_c) + \lambda_2(a_{21}\Delta\theta_m + a_{22}\Delta X_m).$$

Алгоритм обчислення оптимального програмного керування можна подати у такому вигляді:

1. За фіксованого вектора управління U_0 провести розрахунок математичної моделі процесу в прямому часі.
2. У зворотному часі вирішити отриману спряжену систему рівнянь.
3. Визначити вектор оптимального управління U .

Після цього повторити алгоритм з оновленим вектором U .

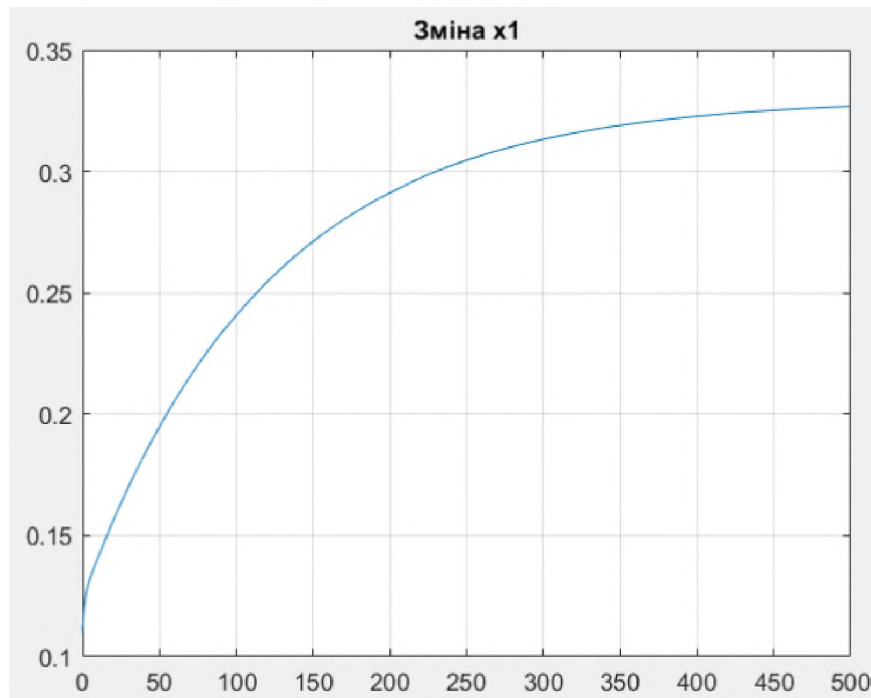
Для обчислення в прямому часі похідні в систему подамо як «різницю вперед»:

$$\begin{cases} \frac{x_{1v+1} - x_{1v}}{\tau} = a_{12}x_{2v} \\ \frac{x_{2v+1} - x_{2v}}{\tau} = a_{21}x_{1v} + a_{22}x_{2v} + b_{21}u_{1v} \end{cases}$$

Для розрахунку систему у зворотному часі представимо похідні як «різницю назад»:

$$\begin{cases} \frac{\lambda_1 - \lambda_{1v-1}}{\tau} = q_{11}(x_{1v} - x_{1v}^{task}) - \lambda_{1v}a_{11} - \lambda_{2v}a_{21} \\ \frac{\lambda_2 - \lambda_{2v-1}}{\tau} = q_{22}(x_{2v} - x_{2v}^{task}) - \lambda_{1v}a_{12} \end{cases}$$

Результати роботи програмного керування зобразимо на рисунку у вигляді графіку зміни концентрації моносахаридів.



Графік зміни концентрації моносахаридів під час програмного керування процесом

З результатів роботи легко помітити, що система виходить на потрібний рівень концентрації моносахаридів за 400 секунд. Якщо порівнювати цей результат з результатом без програмного керування, то стає зрозуміло, що за допомогою даного керування процес проходить в півтора рази швидше і не має перерахунку графіка.

КЛАСИФІКАЦІЯ АУДІАЛЬНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА

Савула А. А., Коротинський А. П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, aasavula@gmail.com

Промисловість є однією з основних складових сучасного світу. Кожне виробництво включає багато різноманітного обладнання для того щоб виготовити якийсь певний продукт, від промислових агрегатів та апаратів до складових систем автоматизації, що поєднує будь-яке виробництво в один цілий механізм. З інтенсивним розвитком промисловості все важливіше стає підтримка роботоздатності обладнання. Підтримка обладнання в робочому стані не лише забезпечує менші витрати при виробництві, а також забезпечує вищий рівень охорони праці на виробництвах.

Одним з методів, які можуть допомогти в цьому є аудіальна дефектоскопія промислового обладнання. Використовуючи звуки роботи обладнання можна визначити його поточний експлуатаційний стан. Проте постає питання як поєднати ці результати з подальшою системою керування.

Один з варіантів вирішення даної задачі є реалізація класифікатора, який би міг чітко визначати несправність та її тип, і на базі цього система керування, наприклад адаптивна чи селективна, могла б надалі керувати іншими етапами довозу несправного обладнання.

Класифікація – це процес, коли ми намагаємось згрупувати певні ознаки (у нашому випадку були використані аудіальні ознаки, такі як розподіл частот, середньоквадратичне відхилення, та відношення частот між собою) до певних класів.

Для вирішення поставленої задачі можна використовувати як класичні методи, так і підходи машинного навчання. Різниця в необхідній кількості даних, а саме для побудови, нейромережі знадобиться більша кількість даних, що для цієї задачі не є можливим у зв'язку зі складністю отримання взірцевих записів звуку роботи несправного обладнання через небезпечність і дорого вартість такого процесу. Тому було вирішено сфокусуватися на підходах машинного навчання при класифікації несправностей.

У роботі обрано 3 методи класифікації для перевірки можливості використання цих підходів в промисловості, а саме:

1. *K-Means* – це метод векторного квантування, що походить з обробки сигналів, метою якого є розбиття n спостережень на k кластерів, в яких кожне спостереження належить до кластера з найближчим середнім значенням (центри кластерів або центроїди кластерів), що слугує прототипом кластера.

2. *Random Forest* – це широко використовуваний алгоритм машинного навчання який об'єднує результати роботи багатьох дерев рішень для отримання єдиного результату

3. *SVM* – це керований алгоритм машинного навчання, який класифікує дані, знаходячи оптимальну лінію або гіперплощину, що максимізує відстань між кожним класом у N -вимірному просторі.

Як експериментальні дані було взяти дані з розробленому у масштабі копії промислового стану що включав в себе електромотор, ремінну передачу та навантаження. Було зроблено наступні експериментальні записи:

- робота стану без механічних пошкоджень, в справному експлуатаційному стані;
- робота стану з послабленим ремнем передачі;
- робота стану з поганим зчепленням зубців ременя зі шківом;
- механічні пошкодження підшипників.

В результаті дослідження, використовуючи зібрані експериментальні дані, було протестовано 3 методи класифікації для визначення типу несправності. Найефективнішим методом виявився *SVM* показуючи середню точність класифікації 92,6 %, але *Random Forest*, що посідає 2 місце, точніше класифікував несправності пов'язані з підшипниками. Результати (точність класифікації) наведено у таблиці.

Порівняння точності класифікації різними методами

Тип несправності	<i>K-Means</i>	<i>Random Forest</i>	<i>SVM</i>
Нормально функціонуюче обладнання	78,4 %	94,2 %	95,3 %
Погане зчеплення	82,1 %	91,7 %	92,8 %
Дефекти підшипників	76,9 %	93,5 %	91,4 %
Послаблений ремінь	75,2 %	89,6 %	90,7 %
Середня точність	78,2 %	92,3 %	92,6 %

Можна зробити висновок, що використання підходів машинного навчання є можливим для класифікації типу несправностей обладнання. Ці методи показують достатньо високу точність 92,6 % для *SVM* та 92,3 % для *Random Forest*. Це дає можливість в майбутньому використовувати зазначені методи для побудови системи автоматизації, що працюватимуть у різних техніко-експлуатаційних режимах, базуючись на аудіальній дефектоскопії.

ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ ОЧИЩЕННІ ТА МОНІТОРИНГУ ВОДИ

Дробаха В. О., Дунаєва Т. А.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, vlad.drobaha@gmail.com

Вода – один із найважливіших природних ресурсів, і її якість має вирішальне значення для здоров'я людини та екосистеми. Останніми роками методи штучного інтелекту (ШІ) та моделі машинного навчання (МН) довели свою здатність оптимізувати, моделювати та автоматизувати критично важливі процеси в галузі очищення та моніторингу води й стічних вод, управління природними системами, а також водного сільського господарства, такого як гідропоніка та аквапоніка.

Дослідження в цих галузях використовували різні методи МН, серед яких найбільш поширеними є штучні нейронні мережі (*ANN*), рекурентні нейронні мережі (*RNN*) випадкові ліси (*RF*), метод опорних векторів (*SVM*) та адаптивно-нейро-нечіткі системи висновків (*ANFIS*), а також деякі методи ШІ, такі як нечіткі системи висновків (*FIS*). Необхідність сталого та чистого водопостачання має важливе значення для очисних споруд води та стічних вод, а також для багатьох природних і промислових систем, що залежать від цього ресурсу [1].

Для дослідження та прогнозування процесів хлорування і утворення побічних продуктів дезінфекції (ППД) найчастіше застосовується модель нейронної мережі (*ANN*), яка є однією з найуживаніших моделей машинного навчання (МН). На рисунках представлені найбільш поширені структури нейронних мереж у водоочищенні та моніторингу. На рис. 1 представлено чотиришарову штучну нейронну мережу з двома прихованими шарами *Artificial Neural Network (ANN)*.

Цей метод моделювання дозволяє контролювати та встановлювати дози хлору; моделювати утворення побічних продуктів знезараження води; параметрів адсорбційного та мембранного процесів; концентрації розчиненого кисню. Перевагами цього методу є можливість отримати швидкі результати моделювання та забезпечити швидкі обчислення завдяки прямому поширенню (*forward propagation*). Недоліками є те, що зворотне поширення (*backward propagation*) вимагає великих обчислювальних ресурсів [2].

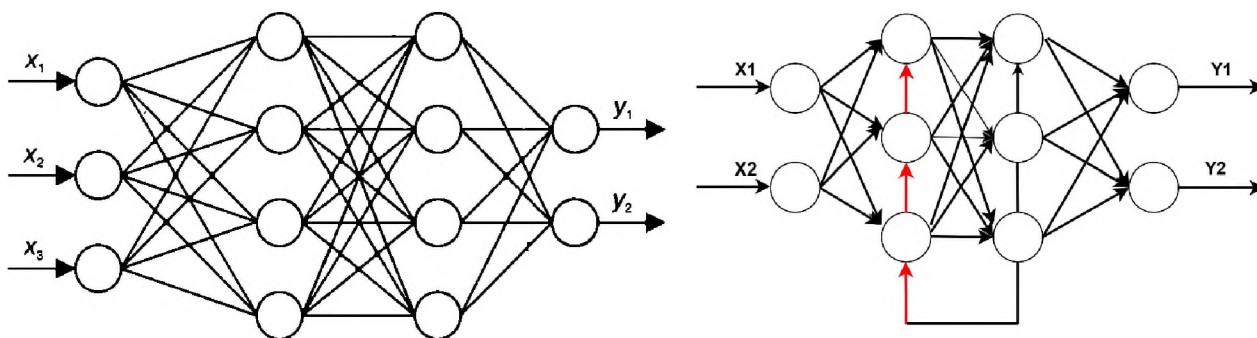


Рис. 1. Чотиришарова штучна нейронна мережа *ANN* та рекурентна нейронна мережа *RNN*

На рис. 2 представлено рекурентну нейронну мережу *Recurrent Neural Network (RNN) / Long Short-Term Memory (LSTM)*.

Цей метод підходить для моделювання параметрів мембранного процесу та моделювання концентрації розчиненого кисню та часових рядів. Також добре працює із послідовними наборами даних будь якої довжини. *Недоліком* є високі вимоги до обчислювальних ресурсів Потребує великих і різноманітних наборів даних, що ускладнює навчання. Застосовується для вирішення задач класифікації та регресії [3].

На рис. 2 представлено типову структуру адаптивної нейро-нечіткої системи виведення *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)*

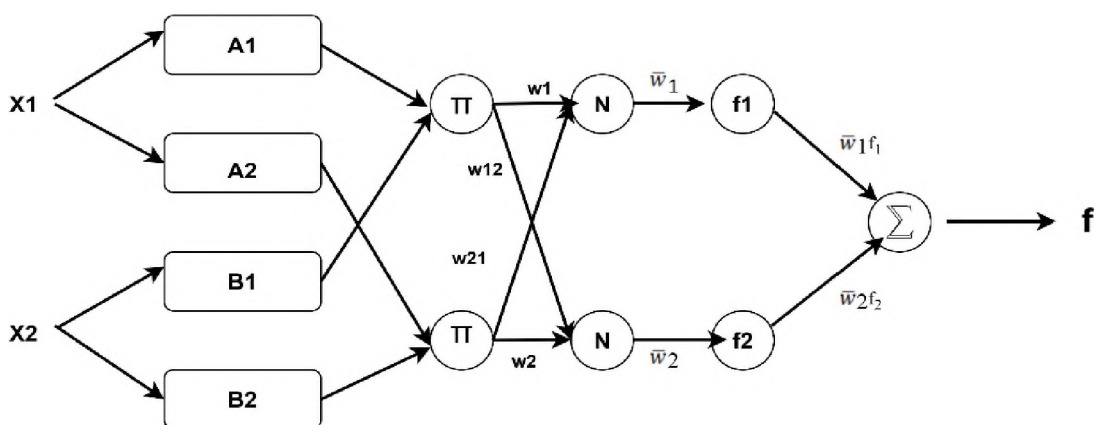


Рис.2. структура адаптивної нейро-нечіткої системи виведення *ANFIS*

Моделює утворення побічних продуктів дезінфекції ППД, моделює ефективність процесу адсорбції, параметрів мембранного процесу та концентрації розчиненого кисню. Поєднує ключові переваги *ANN* та *FIS*. Відносно швидке навчання. Використовує як числові, так і лінгвістичні дані. Добре працює з нелінійними наборами даних. Може класифікувати та розпізнавати шаблони, як *ANN*. *Недоліки*: Висока потреба у обчислювальних ресурсах, що зростає зі збільшенням правил. Вразливий до проблем продуктивності на малих наборах даних, більше, ніж інші *ANN* моделі. Тип та кількість функцій належності критично важливі й можуть бути складними для реалізації, щоб досягти прийнятної точності. Застосовується для вирішення задач класифікації та регресії [4].

1. Lowe Matthew, Ruwen Qin and Xinwei Mao. "A review on machine learning, artificial intelligence and smart technology in water treatment and monitoring." Water. 2022. Vol 14(9). – Article 1384.

2. Librantz A. F., Santos F. C., Dias C. G. Artificial neural networks to control chlorine dosing in a water treatment plant. Acta Sci. Technol. 2018, Vol 40. – Article e37275.

3. Xu Z., Shen J., Qu Y., Chen H., Zhou X., Hong H., Sun H., Lin H., Deng W., Wu F. Using simple and easy water quality parameters to predict trihalomethane occurrence in tap water. Chemosphere 2022, 286. – Article 131586.

4. Okoji C. N., Okoji A. I., Ibrahim M. S., Obinna O. Comparative analysis of adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and RSRM models to predict DBP (trihalomethanes) levels in the water treatment plant. Arab. J. Chem. 2022, Vol 15. – Article 103794.

ОЧИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ГАЗІВ ВІД CO₂ НА ОСНОВІ МЕТИЛ-ДІЕТАНОЛАМІНУ (*MDEA*)

Бугаєва Л. М., Абрамова А. О., Билбас Д. О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, bugaeva_l@ukr.net

Процеси видалення вуглекислого газу (CO₂) завжди були важливою складовою у хімічній промисловості. За останні роки розчинники на основі *MDEA* стали все більш популярними для видалення CO₂ з технологічних газів, що використовуються у виробництві водню, метанолу, аміаку та синтез-газу. Нові розчинники для видалення CO₂ на основі амінів використовують *MDEA* як основну хімічну речовину з додаванням інших амінів для покращення ефективності процесу видалення CO₂.

Автоматизація процесу очищення газу від CO₂ відіграє ключову роль у забезпеченні стабільної роботи установки, зниженні енергетичних витрат та підвищенні ефективності [1]. Вибір засобів автоматизації базується на аналізі технологічної схеми процесу, що наведена на рисунку.

Процес включає абсорбцію CO₂ метилдіетаноламіном (*MDEA*) та подальшу регенерацію абсорбенту [2].

Очищення газу від CO₂ за допомогою *MDEA* починається з подачі газу, що містить CO₂, у нижню частину абсорбера CO₂ (101-Е) [2]. У цій колоні відбувається контакт газу зі збідненим розчином *MDEA*, який поглинає вуглекислий газ. Очищений газ із мінімальним вмістом CO₂ (до 100 ppm) виходить із верхньої частини абсорбера. Поглинений CO₂ залишається в збагаченому розчині *MDEA*, який відводиться знизу колоні та спрямовується у теплообмінник збідненого/збагаченого розчину (109-С), де попередньо нагрівається перед подачею в стрипер.

У стриперах CO₂ (102-ЕА, 102-ЕВ) відбувається десорбція вуглекислого газу під впливом тепла, що подається через перегрівники (105-СА, 105-СВ). Процес регенерації проходить при температурі близько 107 °С і тиску 0,6...1,1 кг/см². Вивільнений CO₂ спрямовується у верхню частину стриперів і далі в відстійник рефлюкс-конденсату (103-Ф), де частково конденсується. Чистий CO₂ після цього виходить із системи у вигляді кінцевого продукту.

Регенований *MDEA* після видалення CO₂ охолоджується в теплообміннику (109-С), після чого проходить додаткове охолодження у охолоджувачі збідненого розчину (108-С). Після цього він подається назад в абсорбер за допомогою насоса збідненого розчину (107-Л) і повторно використовується в процесі абсорбції.

Допоміжні системи забезпечують стабільну роботу установки. Конденсат із процесу збирається у сепараторі конденсату (102-Ф) та відводиться за допомогою насоса конденсату (106-Л). Частина використаної пари конденсується і повертається у вигляді конденсату пари, а для підтримки балансу в систему додається необхідна кількість додаткової води.

СТВОРЕННЯ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОЇ СХЕМИ РЕАКТОРА

Юденко В. В., Ситніков О. В.

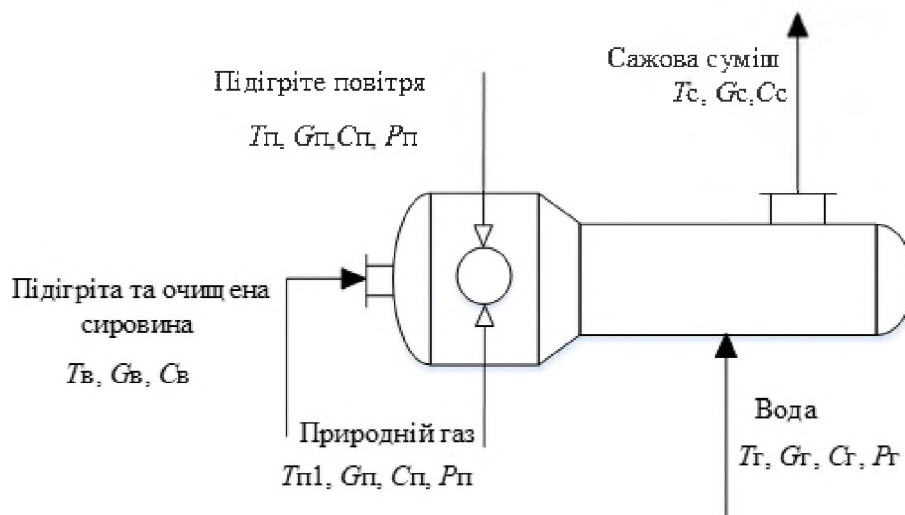
КПІ ім. Ігоря Сікорського, o.sitnikov@kpi.ua

Процес виробництва технічного вуглецю шляхом термічного розкладання вуглеводнів в умовах неповного турбулентного горіння. А саме представлений найголовніший компонент технологічної схеми – це реактор.

Необхідно створити структурно-параметричну схему реактору. У реакторі потік продуктів згоряння палива спричиняє її термічне розкладання, внаслідок чого утворюється технічний вуглець (сажа).

Для дослідження процесу автоматизації виробництва сажі розроблено структурно-параметричну схему, яка враховує баланс теплових потоків. Основними параметрами є температура повітря на вході та виході ($T_{\text{п}}$ і $T_{\text{п1}}$), витрата повітря ($G_{\text{п}}$), сировини ($G_{\text{в}}$), природного газу ($G_{\text{п1}}$), сажової суміші ($G_{\text{с}}$) і води ($G_{\text{г}}$)^{*}.

Також враховуються такі параметри, як питома теплоємність повітря ($C_{\text{п}}$), сировини ($C_{\text{в}}$), природного газу ($C_{\text{п1}}$), сажової суміші ($C_{\text{с}}$) і води ($C_{\text{г}}$), а також густина повітря ($P_{\text{п}}$), сировини ($P_{\text{в}}$), природного газу ($P_{\text{п1}}$), сажової суміші ($P_{\text{с}}$) і води ($P_{\text{г}}$).



Структурно-параметрична схема реактора

Для математичного опису впливу основних вхідних параметрів на утворення сажі використовується спрощена форма рівняння теплового балансу:

$$Q = G_{\text{в}} C_{\text{в}} (T_{\text{в1}} - T_{\text{в}}) + G_{\text{п}} C_{\text{п}} (T_{\text{п1}} - T_{\text{п}}) - G_{\text{г}} C_{\text{г}} (T_{\text{г}} - T_{\text{в}}).$$

На основі рівняння будують графік залежності температури реакційної суміші на виході від зміни витрати повітря або сировини.

Розроблена структурно-параметрична модель та рівняння теплового балансу є основою для подальшого дослідження процесу.

^{*} Ларичева Л. П. Контроль та автоматизація хімічних процесів та виробництв [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Хімічна технологія», 2016. 172 с.

АЛГОРИТМ ФЕЄРВЕРКІВ ЯК МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ НАЛАШТУВАНЬ ПІ-РЕГУЛЯТОРА

Авраменко А. А., Варакута І. Є., Коротинський А. П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, avramenko.alina.05@gmail.com

Ефективне керування технологічними процесами неможливе без якісного налаштування регуляторів, які забезпечують стабільність і оптимальну роботу систем керування. Пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор є одним із найпоширеніших інструментів автоматичного керування завдяки простоті реалізації та високій ефективності у широкому спектрі застосувань.

Правильний вибір параметрів ПІ-регулятора безпосередньо впливає на якість перехідного процесу, швидкість реакції системи на зміни вхідних сигналів та здатність компенсувати збурення. Оптимальне налаштування дозволяє мінімізувати перерегулювання, забезпечити необхідну точність та підвищити стійкість системи. Особливо це важливо для складних технологічних процесів, де навіть незначні відхилення можуть призвести до втрат ресурсів або порушення технологічного режиму.

Дослідження методів налаштування регуляторів, зокрема із застосуванням сучасних оптимізаційних алгоритмів, є актуальним завданням, спрямованим на підвищення ефективності систем керування.

Одним із способів налаштування регуляторів є оптимізація параметрів регулятора відповідно до критерію оптимальності. Це передбачає ряд переваг, таких як: гнучкість налаштування відносно до критерію оптимальності, можливість багатокритеріальної оптимізації, можливість налаштування за симуляцією чи експериментом, а відтак для об'єктів з частково невідомими параметрами. У якості недоліків до такого підходу можна віднести: часова складність – еволюційні та евристичні методи можуть бути вільними та потреба у симуляторі – для кожного кроку треба проганяти модель, що ресурсозатратно.

У роботі пропонується провести налаштування ПІ-регулятора шляхом оптимізації його налаштувань за допомогою алгоритму феєрверків. Цей підхід має ряд переваг, оскільки хороші рішення дають багато іскор у вузькому діапазоні (локальний пошук), а погані – менше іскор, але з великим радіусом (глобальний пошук), що реалізує гнучку комбінацію локального та глобального пошуку. Цей підхід чудово працює у випадках коли система нелінійна або частково невідома, наприклад зміна параметрів об'єкта керування.

На рис. 1 зображено результати роботи запропонованого алгоритму з такими налаштуваннями: кількість феєрверків 5, кількість іскор 20, можливі діапазони налаштування регулятора $K_p = 0,1 \dots 10$, $K_i = 0,01 \dots 5$.

У ході експерименту було сформовано двовимірну поверхню значення цільової функції (критерію оптимальності) залежно від параметрів регулятора. Як видно з графіка, спостерігається наявність чітко вираженого глобального мінімуму, до якого алгоритм феєрверків ефективно сходиться протягом ітерацій. Ви-

сока густота іскор поблизу мінімуму свідчить про інтенсивність локального пошуку, тоді як поодинокі іскри на периферії параметричного простору демонструють здатність алгоритму здійснювати глобальну розвідку.

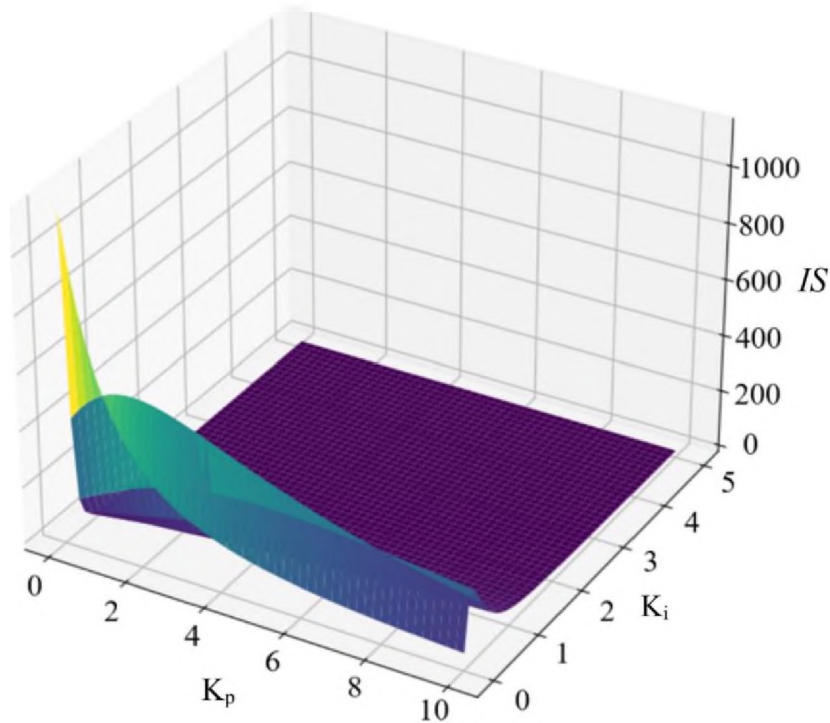


Рис 1. Поверхня зміни значення критерію оптимальності від параметрів налаштування регулятора

З графіка перехідної характеристики, зображеної на рис. 2, видно, що система з оптимізованими налаштуваннями ПІ-регулятора за допомогою алгоритму феєрверків досягає стабільного рівня за 4 секунди, а перерегулювання становить 5 %.

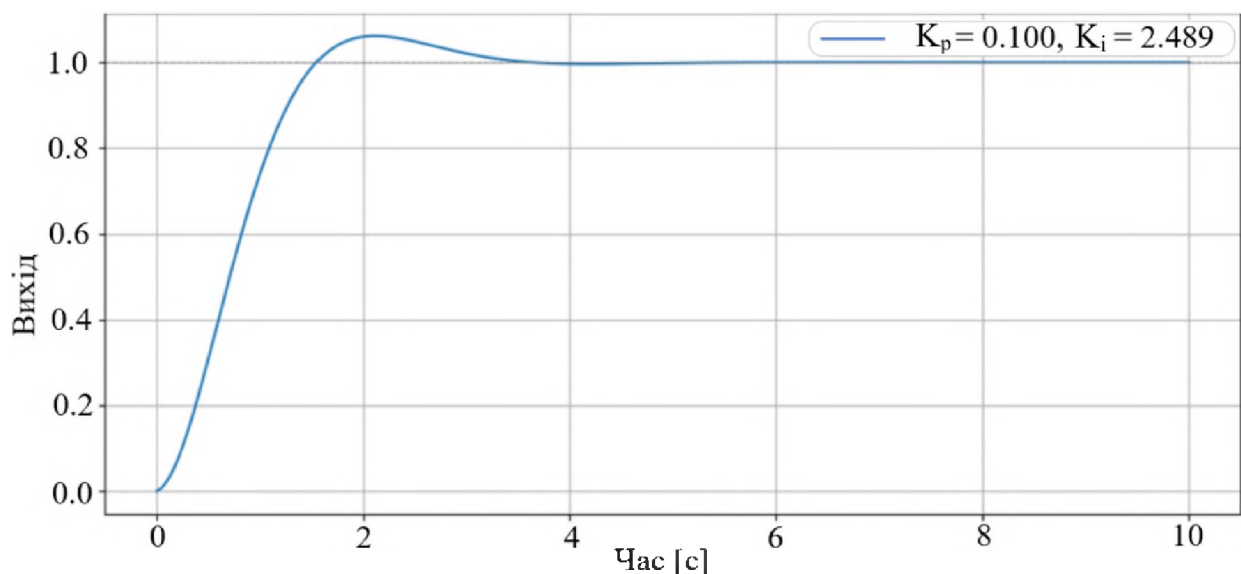


Рис 2. Перехідна характеристика системи з оптимальними налаштуваннями регулятора

З результатів роботи розробленого регулятора можна зробити висновок щодо можливості застосування алгоритму феєрверків у якості способу налаштування параметрів ПІ-регулятора.

СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА МОНІТОРИНГУ УСТАНОВКИ КАТАЛІТИЧНОГО РИФОРМІНГУ НАФТОПРОДУКТІВ

В'ялий Є. Р., Квітка О. О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, alexkvitka@gmail.com

Каталітичний риформінг є одним з важливіших процесів у нафтовій промисловості. У сучасних умовах виробництва цей процес потребує впровадження високотехнологічних систем моніторингу та контролю, які забезпечують стабільність параметрів, енергоефективність і безпеку технологічного процесу. Дана робота присвячена розробці системи, яка дозволяє здійснювати автоматизований збір, обробку та візуалізацію даних у реальному часі, що дає змогу оперативно реагувати на зміни в роботі установки.

Основою для побудови такої системи стала інтеграція апаратних засобів, таких як мікроконтролери *Arduino*, та програмного забезпечення на базі *Laravel*, *MySQL*, *Livewire*, *Alpine.js* і *Konva.js*. Мікроконтролер *Arduino Mega 2560* використовується для зчитування даних із великої кількості підключених сенсорів, які вимірюють параметри, критичні для процесу риформінгу, зокрема температуру, тиск, витрати та рівень рідин. Для передачі зібраної інформації на сервер застосовуються *Ethernet* або *Wi-Fi* модулі, які підтримують протоколи *HTTP* та *MQTT*. Дані передаються у форматі *JSON* і надходять до серверної частини, де обробляються фреймворком *Laravel* і зберігаються у базі даних *MySQL*. Це забезпечує зручний доступ до історії вимірювань, логів подій і конфігураційних даних.

Особливу роль у системі відіграє ефективна взаємодія з користувачем, яка реалізується через спеціально розроблений веб-інтерфейс, який створено з урахуванням принципів *UX/UI*-дизайну, що забезпечує інтуїтивність, простоту навігації та доступ до критично важливої інформації в реальному часі. Захист системи від несанкціонованого доступу забезпечується обов'язковою авторизацією користувача, що дозволяє ідентифікувати конкретного оператора.

На головній панелі моніторингу візуалізуються актуальні параметри всіх підключених апаратів – печей, реакторів, теплообмінників, абсорберів та ін. Усі дані оновлюються динамічно без потреби перезавантаження сторінки, завдяки застосуванню *Livewire* та *Alpine.js*. Оператор бачить графіки змін температури, тиску, витрати та інших параметрів, що дозволяє швидко оцінити поточний стан технологічного процесу. Інформація представлена у формі табличних звітів, графіків, кольорових індикаторів і схем. У випадку виявлення аномалій – наприклад, перевищення допустимих меж температури – інтерфейс автоматично змінює кольорову індикацію відповідного блоку, а також надсилає текстове сповіщення у вигляді поп-ап вікна. Це дозволяє оператору миттєво реагувати на критичні відхилення, не заглиблюючись у масивні звіти або ручні перевірки.

Користувач має змогу в режимі реального часу змінювати параметри роботи окремих апаратів. Наприклад, через контекстне меню об'єкта на схемі можна змінити бажаний параметр – температуру, тиск чи витрату газу. Усі зміни автоматично фіксуються у системному журналі, що дозволяє здійснювати аудит дій користувача.

Функціонал системи охоплює повний цикл обробки інформації – від збору даних до аналітики та керування. Основні можливості системи включають: автоматизований збір даних із великої кількості сенсорів, передачу даних через *Arduino Mega 2560* на сервер, обробку інформації, збереження у структурованій базі даних *MySQL*, візуалізацію параметрів у реальному часі, сповіщення про критичні значення, формування звітів та керування компонентами установки через веб-інтерфейс.

Система також підтримує гнучке масштабування: завдяки реляційній структурі бази даних можна легко додавати нові об'єкти, з'єднання чи типи сенсорів без необхідності переробки загальної архітектури. Усі зміни, внесені в інтерфейсі, зберігаються на сервері та одразу оновлюються в інтерфейсі користувача, що забезпечує високу інтерактивність і стабільність роботи.

Загалом, реалізована система моніторингу та контролю є важливим етапом у вдосконаленні процесів каталітичного риформінгу. Вона сприяє зниженню впливу людського фактора, мінімізує ризики аварій, забезпечує стабільність і дає змогу ефективно керувати технологічним процесом. Гнучкість програмного забезпечення дозволяє адаптувати рішення для інших виробничих ліній, а зручність використання забезпечує високу ефективність роботи операторів і інженерного персоналу.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МУЛЬТИРОТОРНОГО БПЛА З 6-DOF

Ковалюк Д. О., Біганський Б. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, bbm-ihf@lil.kpi.ua

Квадрокоптер – це один із найпоширеніших типів безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що має чотири гвинти на кінцях променів. Він є недостатньо керованою системою, оскільки кількість засобів керування (4 ротори) менша за кількість ступенів свободи (6: $x, y, z, roll, pitch, yaw$). Сьогодні дрони активно застосовуються в військовій справі, агросекторі, логістиці, охороні та рятувальних операціях. Для їх керування використовують системи на основі нейронних мереж, нечіткої логіки, ПД-регуляторів, тощо. Проте будь-який метод керування вимагає математичної моделі об'єкту, яка описує його динаміку і реакцію на вхідні сигнали – у нашому випадку, це швидкості обертання роторів $\Omega_1 \dots \Omega_4$. Вони генерують загальну підйомну силу f_t (для керування висотою z) та три моменти s_x, s_y, s_z (для керування кутами нахилу).

Ці входи виражаються через швидкості гвинтів наступним чином:

$$\begin{aligned} f_t &= b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\ s_x &= bl(\Omega_3^2 - \Omega_1^2) \\ s_y &= bl(\Omega_4^2 - \Omega_2^2) \\ s_z &= d(\Omega_2^2 + \Omega_4^2 - \Omega_1^2 - \Omega_3^2) \end{aligned}$$

Деякі дослідники, наприклад в [1], при моделюванні 6-DOF квадрокоптеру враховують лише рівняння прискорень, ігноруючи швидкості. Це спрощує модель, зменшує складність обчислень (що важливо для одноплатних контролерів типу *Raspberry Pi*), але в той же час знижує її точність. Тому для побудови системи керування є сенс спробувати спочатку використати повну нелінійну модель 6-DOF квадрокоптеру. Ця модель відома і наведена в багатьох роботах, зокрема в [2]. Вона включає рівняння для поступального (x, y, z) та обертального (ϕ, θ, ψ) руху, враховуючи швидкості, прискорення та зовнішні впливи (вітер, гравітацію)

Поступальний рух. Рівняння для швидкостей ($\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$):

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c(\psi)c(\theta) & c(\psi)s(\phi)s(\theta) - c(\phi)s(\psi) & s(\phi)s(\psi) + c(\phi)c(\psi)s(\theta) \\ c(\theta)s(\psi) & c(\phi)c(\psi) + s(\phi)s(\psi)s(\theta) & c(\phi)s(\psi)s(\theta) - c(\psi)s(\phi) \\ -s(\theta) & c(\theta)s(\phi) & c(\phi)c(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}$$

Рівняння для прискорень ($\ddot{u}, \ddot{v}, \ddot{w}$):

$$\begin{bmatrix} \ddot{u} \\ \ddot{v} \\ \ddot{w} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & r & -q \\ -r & 0 & p \\ q & -p & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} + g \begin{bmatrix} -s(\theta) \\ s(\phi)c(\theta) \\ c(\phi)c(\theta) \end{bmatrix} + \frac{1}{m} \begin{bmatrix} f_{wx} \\ f_{wy} \\ f_{wz} - f_t \end{bmatrix}$$

Обертальний рух. Рівняння для кутових швидкостей ($\dot{\phi}, \dot{\theta}, \dot{\psi}$):

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & s(\phi)t(\theta) & c(\phi)t(\theta) \\ 0 & c(\phi) & -s(\phi) \\ 0 & \frac{s(\phi)}{c(\theta)} & \frac{c(\phi)}{c(\theta)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix}$$

Рівняння для кутових прискорень ($\ddot{p}, \ddot{q}, \ddot{r}$):

$$\begin{bmatrix} \ddot{p} \\ \ddot{q} \\ \ddot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{I_y - I_z}{I_x} \\ \frac{I_z - I_x}{I_y} \\ \frac{I_x - I_y}{I_z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} rq \\ pr \\ pq \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{S_x + S_{wx}}{I_x} \\ \frac{S_y + S_{wy}}{I_y} \\ \frac{S_z + S_{wz}}{I_z} \end{bmatrix}$$

Пояснення параметрів моделі наведено в таблиці [2].

Опис параметрів математичної моделі

Параметр	Опис	Одиниці вимірювання
(x, y, z)	Лінійний вектор позиції	m
(ϕ, θ, ψ)	Кутовий вектор позиції (крен, тангаж, ристання)	rad
(u, v, w)	Лінійний вектор швидкості	m/s
(p, q, r)	Кутовий вектор швидкості	rad/s
(I_x, I_y, I_z)	Вектор моментів інерції	$kg \cdot m^2$
f_t	Загальна сила тяги від гвинтів	N
(S_x, S_y, S_z)	Керуючі моменти	$N \cdot m$
(f_{wx}, f_{wy}, f_{wz})	Вектор сили вітру	N
(S_{wx}, S_{wy}, S_{wz})	Вектор моментів від вітру	$N \cdot m$
g	Гравітаційна стала	m/s^2
m	Загальна маса квадрокоптера	kg
$(\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \Omega_4)$	Вектор швидкостей гвинтів	rad/s
b	Коефіцієнт тяги гвинтів	$N \cdot s^2$
l	Відстань від двигуна до центру	m
d	Коефіцієнт опору	$N \cdot m \cdot s^2$

Формалізація і розв'язання наведеної моделі для конкретного дрону є основою для синтезу системи керування і предметом подальших досліджень.

1. D. Kotarski, Z. Benic, M. Krznar. Control design for unmanned aerial vehicles with four rotors. Interdisciplinary Description of Complex Systems. 2016. Vol. 14, № 2. P. 236–245. URL: <https://doi.org/10.1109/ICMOCE.2015.7489693> (Last accessed: 13.04.2025).

2. A. A. Najm, I. K. Ibraheem. A nonlinear PID controller design for 6-DOF unmanned aerial vehicles. Unmanned Aerial Systems, 1st ed. Elsevier, 2021. P. 315–343. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820276-0.00020-0> (Last accessed: 14.04.2025).

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АМІАЧНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА У ПРОЦЕСІ РОЗДІЛЕННЯ СУМІШІ ВУГЛЕВОДНІВ

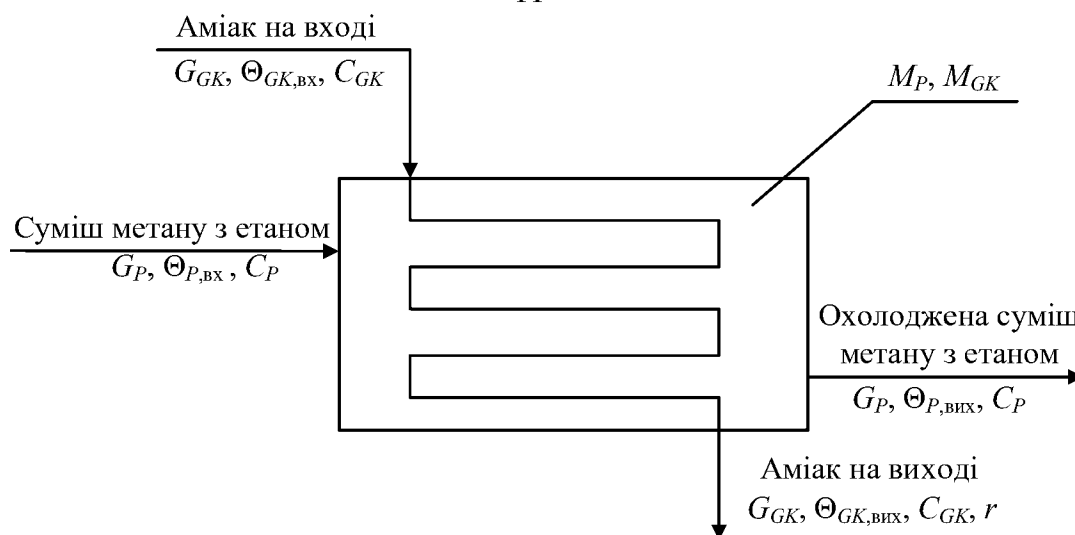
Анбінська А. О., Тюріна Є. О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, annaanbinska@gmail.com

При розділенні сумішей легких вуглеводнів отримують метанову, етанову, пропанову, ізобутанову, бутанову, ізопентанову, пентанову та фракції C_6 і вище, які є ключовими компонентами у паливній, газовій та хімічній промисловості. Названі фракції послідовно вилучають на кожному етапі технологічної ланки, починаючи з більш легких вуглеводнів з підтриманням належних температурних режимів. Таким чином, актуальним є створення математичного забезпечення системи автоматизації, яке дозволить отримати компоненти, виділені з суміші вуглеводнів, належної якості [1].

Метою роботи є розробка математичної моделі процесу охолодження суміші метану з етаном в аміачному холодильнику як одного з основних об'єктів технологічної ланки з її подальшим використанням у системі керування. Розрахункову схему аміачного холодильника наведено на рисунку.

На першому етапі вилучають газову суміш метану з етаном з отриманням деетанізованої фракції, яку направляють на подальше розділення. Отриману суміш охолоджують рідким аміаком у холодильнику. Суміш направляють в апарат через холодильник, обладнаний змійовиком, в якому циркулює рідкий аміак, що відводить тепло від газової фракції.



Розрахункова схема аміачного холодильника:

G_P, G_{GK} – витрати суміші метану з етаном та аміаку відповідно; $\Theta_{P,вх}, \Theta_{P,вих}, \Theta_{GK,вх}, \Theta_{GK,вих}$ – температури суміші метану з етаном та аміаку на вході і виході відповідно; C_P, C_{GK} – питомі теплоємності метану з етаном та аміаку відповідно; M_P, M_{GK} – маси суміші метану з етаном та аміаку в холодильнику відповідно; r – питома теплота пароутворення аміаку

В аміачному холодильнику показником ефективності є температура суміші метану з етаном на виході, яка впливає на подальші процеси ректифікації. Так,

порушення температурних режимів колон призведе до втрати цільового продукту [1, 2].

Отже, регульованим параметром є температура суміші метану з етаном на виході з аміачного холодильника ($\Theta_{P,вих}$), керувальний вплив здійснюють витратою аміаку (G_{GK}). Збуреннями є температура суміші метану з етаном на вході ($\Theta_{P,вх}$), температура аміаку на вході ($\Theta_{GK,вх}$) в апарат та витрата суміші метану з етаном (G_P) в апараті.

При моделюванні було прийнято такі припущення [3]: конденсат в аміачному холодильнику утворює плівку на поверхні теплопередачі, яка рівномірно її покриває; теплопередача через стінки змієвика не враховується, оскільки їхня акумулююча теплова здатність є несуттєвою у порівнянні з загальним енергетичним потоком; втрати в навколишнє середовище є несуттєвими у порівнянні з загальним енергетичним потоком, тому ними можна знехтувати; теплоємності суміші метану з етаном та аміаку є постійними в усьому діапазоні робочих температур і тисків; розподіл температури по довжині поверхні теплообміну вважається лінійним [1, 2, 3].

З урахуванням прийнятих припущень наведемо рівняння теплових балансів. Тепловий баланс для суміші метану з етаном:

$$\frac{C_P M_P}{2} \frac{d(\Theta_{P,вх} + \Theta_{P,вих})}{dt} = -KS \left(\frac{\Theta_{P,вих} + \Theta_{P,вх}}{2} - \frac{\Theta_{GK,вих} + \Theta_{GK,вх}}{2} \right) + C_P G_P (\Theta_{P,вх} - \Theta_{P,вих}).$$

Тепловий баланс для аміаку:

$$\frac{C_{GK} M_{GK}}{2} \frac{d(\Theta_{GK,вх} + \Theta_{GK,вих})}{dt} = KS \left(\frac{\Theta_{P,вих} + \Theta_{P,вх}}{2} - \frac{\Theta_{GK,вих} + \Theta_{GK,вх}}{2} \right) + C_{GK} G_{GK} (\Theta_{GK,вх} - \Theta_{GK,вих}) - G_{GK} r,$$

де K – коефіцієнт теплопередачі, S – площа поверхні теплопередачі.

Після лінеаризації наведених рівнянь, отримано передавальні функції за каналами керування – «витрата аміаку – температура суміші метану з етаном на виході» – та збурення: «температура суміші метану з етаном на вході – температура суміші метану з етаном на виході», «температура аміаку на вході – температура суміші метану з етаном на виході» [3].

Отримана математична модель дозволить визначити властивості обраних каналів та буде використана при синтезі системи керування процесами охолодження суміші вуглеводнів.

1. Sarshar M., Aminian A., Nasrifar K. Multi-objective optimization of gas fractionation unit operation. Measurement and Control. *Journal Measurement and Control*. 2015. DOI: 10.1177/0020294015569258.

2. Voronov M. V., Popov S. V. Improvement of the technological scheme of the gas fractionation unit for wide fraction of light hydrocarbons. *International Research Journal*. 2024. DOI: 10.60797/IRJ.2024.148.43.

3. Автоматизація виробничих процесів.: навчальний посібник; Гончаренко Б.М., Осадчий С. І., Віхрова Л.Г., Каліч В. М., Дідик О. К; Видавець – Лисенко В. Ф., 2016. 352 с. ISBN 978-617-7197-40-8.

АНАЛІЗ РИЗИКІВ ПОРУШЕНЬ ТЕХНОЛОГІЇ У ВИРОБНИЦТВІ ТЕРМІЧНОЇ ФОСФОРНОЇ КИСЛОТИ

Савченко Т. В., Ярощук Л. Д.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, tanjasavch@gmail.com

Виробництво термічної фосфорної кислоти є важливим для хімічної, аграрної та харчової галузей, однак воно супроводжується значними небезпеками. Негативні екологічні ризики в робочій зоні виробництва пов'язані, по-перше, із використанням рідкого фосфору – основною сировиною виробництва, що легко самозаймається при контакті з повітрям, по-друге, пара фосфору токсична для людини й викликає в неї серйозні ураження дихальних шляхів. Викиди оксидів фосфору та інших хімічних речовин можуть негативно впливати на довкілля.

Вище вказане свідчить про важливість дотримання нормативних вимог та стандартів, що регламентують екологічні обмеження для виробництва.

Крім таких задач для виробництва важливим є задачі стандартизації, тобто забезпечення заданої якості продукції. Отже, сучасний етап автоматизації виробництва фосфорної кислоти спрямований на комплексне дослідження джерел порушень у технологічній системі, що створюють загрозу довкіллю та викликають нерациональне використання ресурсів і збільшення відходів.

Метою дослідження є визначення основних джерел порушень у виробництві термічної фосфорної кислоти, їх особливостей та причин виникнення з метою зменшення їх наслідків.

Для виготовлення термічної фосфорної кислоти рідкий фосфор спалюють у потоці сухого повітря (тобто, окислюють), з подальшим утворенням фосфорного ангідриду, який поглинається водою та утворює термічну фосфорну кислоту. Зазначені процеси супроводжуються високими температурами (наприклад, температура спалювання фосфору становить від 1000 °C до 1400 °C) та виділенням токсичних газів. Така технологія вимагає контролю за умовами перебігу технологічного процесу виробництва, збереженням герметичності обладнання, а також контролю ефективності системи очищення газів, адже навіть незначні витоки можуть призвести до забруднення повітря, ґрунтів і водних об'єктів [1]. Тому, дослідження шкідливості й небезпечності виробництва термічної фосфорної кислоти є надзвичайно важливим для забезпечення промислової безпеки та для зменшення рівня екологічного забруднення довкілля.

Основними етапами дослідження вважаємо такі: визначення основних небезпечних факторів, пов'язаних із використанням рідкого фосфору, дослідження впливів шкідливих викидів у робочу зону та довкілля, а також ідентифікація основних аварійних ситуацій, які погіршують якість продукції.

З метою виявлення потенційних небезпечних і шкідливих факторів, що супроводжують процес було здійснено детальний аналіз технологічної схеми виробництва термічної фосфорної кислоти.

На першому етапі розглянуто схематично-параметричну схему процесу виробництва, що охоплює основні вузли процесу: спалювання рідкого фосфору в

камері спалювання, гідратації та охолодження фосфорного ангідриду, фільтрацію фосфорної кислоти. Кожен елемент схеми описано з урахуванням технологічних параметрів (наприклад, тиску в трубопроводі з повітрям, температурою фосфорного ангідриду, концентрації фосфорної кислоти тощо).

Проведено ідентифікацію основних вхідних та вихідних потоків у системі. До вхідних потоків належать: рідкий фосфор, осушене повітря, технічна вода. Вихідними потоками є готова термічна фосфорна кислота різної концентрації, газ (що витягується з фосфорної кислоти у електрофільтрі).

В ході аналізу на основі системи експертного оцінювання були ідентифіковані критичні ділянки, де можливі витoki або аварійні ситуації [2]. Серед них – трубопровід подачі рідкого фосфору, система фільтрації фосфорної кислоти, де можливе накопичення конденсату, насиченого токсичними газами.

Визначено основні небезпечні чинники: високу температуру процесу, властивість рідкого фосфору до самозаймання, утворення токсичних парів. Для якісної оцінки аварійних ризиків було складено дерево можливих аварійних ситуацій в технологічному процесі виробництва. Проведено аналіз імовірностей критичних подій та оцінено їх вплив на безпеку об'єкта, персоналу та довкілля.

На основі отриманих результатів запропоновано комплекс технічних і організаційних заходів, зокрема, вдосконалення системи фільтрації термічної фосфорної кислоти на останньому етапі виробництва, вторинне використання залишків виробництва. Також запропоновано заходи з вдосконалення системи автоматизації виробництва, зокрема розроблена система сигналізації граничних відхилень відображає створений граф аварійних ситуацій.

У дослідженні проведено аналіз технологічної схеми виробництва термічної фосфорної кислоти з акцентом на безпеку та екологічність. Ідентифіковано критичні ділянки, де можливі аварійні ситуації, побудовано дерево аварійних ситуацій, визначено основні небезпечні чинники. Результати дослідження та запропоновані технічні рішення можуть бути використані у розробці адаптивних систем управління та цифрових моделей для прогнозування ризиків.

1. Martin Bertau, Friedrich-W. Wellmer, Roland W. Scholz, Michael Mew, Lukas Zenk, Ines Aubel, Peter Fröhlich, Matthias Raddant, Gerald Steiner. The Future of Phosphoric Acid Production –Why We Have to Leave Trodden Paths. *ChemSusChem*. 2025. Vol. 18. Issue 3. URL: <https://doi.org/10.1002/cssc.202401155> (Last accessed: 24.11.2024).

2. Експертні методи в автоматизованих системах керування : Формування та напрями використання експертних знань : [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л. Д. Ярощук. – 2-ге вид., допов. – Електронні текстові дані. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 43 с.

МОДЕЛЮВАННЯ ХЛОРАТОРА В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ТЕРМІЧНОГО ХЛОРУВАННЯ МЕТАНУ ЯК ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

Федоренко І. В., Квітка О. О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, alexkvitka@gmail.com

Термічне хлорування метану є важливим процесом у хімічній промисловості, оскільки дозволяє отримувати хлорвмісні сполуки, які мають широке застосування в широкому колі галузей промисловості. Зокрема, це стосується виробництва хлористого метилену, який застосовується у фармацевтиці, косметичці та промисловості пластмас, оскільки є універсальним розчинником.

Процес термічного хлорування метану відбувається в хлораторі (рис. 1). Зверху в хлоратор подається суміш реагентів, що складається зі строго контрольованого співвідношення метану та хлору, а продукти реакції виводяться з нижньої частини реактора. У нижній частині хлоратора розташована кільцева піч, у якій спалюється горючий газ для нагрівання реакційних газів до робочої температури. Після початкового нагрівання відбувається екзотермічна реакція хлорування. При цьому тепло, що виділяється під час реакції, підтримує автотермічність процесу.

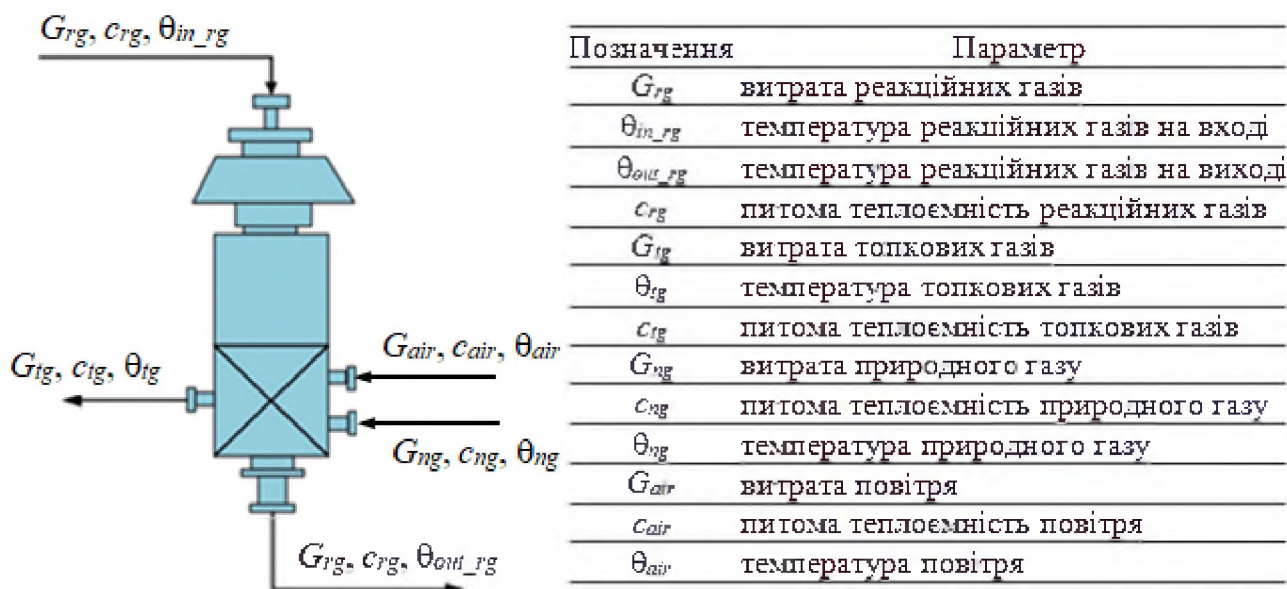


Рис. 1. Розрахункова схема хлоратора

В результаті аналізу структурно-параметричної схеми хлоратора (рис. 2) в якості регульованих величин визначено температуру реакційних газів на виході θ_{out_rg} та температуру природного газу θ_{ng} . Керувальними параметрами є витрати палива G_{ng} та повітря на вході в топку G_{air} , а збуренням – температура реакційних газів на вході θ_{in_rg} .

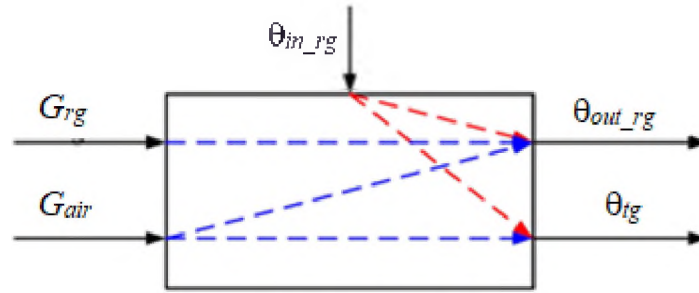


Рис. 2. Структурно-параметрична схема хлоратора

Математична модель хлоратора в динамічному режимі включає рівняння теплового балансу топкових газів (1) та теплового балансу реакційних газів (2):

$$G_{ng}c_{ng}\theta_{ng} + \alpha G_{air}c_{air}\theta_{air} - G_{ig}c_{ig}\theta_{ig} = V_{ig}c_{ig}\rho_{ig} \frac{d\theta_{ig}}{dt}; \quad (1)$$

$$G_{rg}c_{rg}\theta_{in_rg} + G_{ig}c_{ig}\theta_{ig} + q_r kx_b^m - G_{rg}c_{rg}\theta_{out_rg} = V_{rg}c_{rg}\rho_{rg} \frac{d\theta_{out_rg}}{dt}. \quad (2)$$

Оскільки хлоратор, як видно зі структурно-параметричної схеми, є МІМО-об'єктом, необхідно розглянути та проаналізувати канали керування: $G_{ng} \rightarrow \theta_{ig}$, $G_{air} \rightarrow \theta_{ig}$, $G_{air} \rightarrow \theta_{out_rg}$, $G_{ng} \rightarrow \theta_{out_rg}$. Після проведення відомих математичних перетворень отримуємо передавальні функції за каналами:

$$G_{ng} \rightarrow \theta_{ig}, \quad W_{\theta_{ig}}(s) = \frac{k_{G_{ng}\theta_{ig}}}{\theta_{ig}s+1};$$

$$G_{air} \rightarrow \theta_{ig}, \quad W_{\theta_{ig}}(s) = \frac{k_{G_{air}\theta_{ig}}}{\theta_{ig}s+1};$$

$$G_{air} \rightarrow \theta_{out_rg}, \quad W_{\theta_{out_rg}}(s) = \frac{k_{\theta_{out_rg}} k_{G_{air}\theta_{ig}}}{(\theta_{ig}s+1)(\theta_{rg}s+1)};$$

$$G_{ng} \rightarrow \theta_{out_rg}, \quad W_{\theta_{out_rg}}(s) = \frac{k_{\theta_{out_rg}} k_{G_{ng}\theta_{ig}}}{(\theta_{ig}s+1)(\theta_{rg}s+1)}.$$

В результаті обрахунку отриманої моделі було отримано перехідні характеристики системи. Проведений аналіз перехідних характеристик системи дозволив оцінити її динамічні властивості, стабільність та швидкість реакції на зовнішні збурення. Отримані результати є основою для налаштування системи автоматичного керування об'єктом – хлоратором відповідно до вимог технологічного процесу.

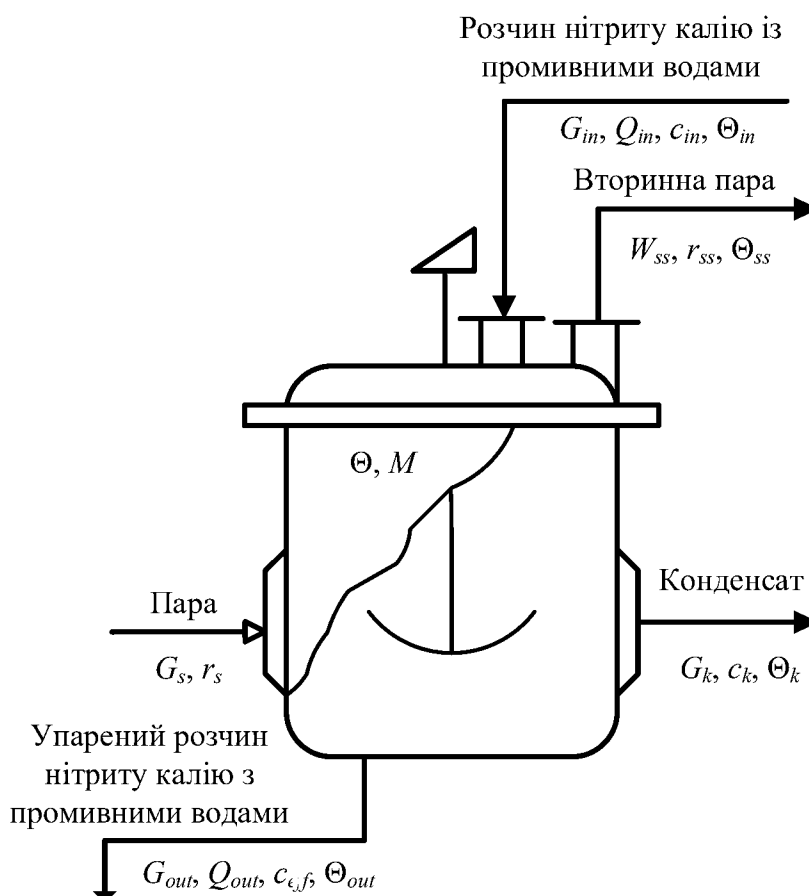
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИПАРНОГО РЕАКТОРА У ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА НІТРИТУ КАЛІЮ

Щербань М. В., Тюріна Є. О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, m.shcherban27@gmail.com

Нітрит калію, також відомий як харчова добавка E249, є консервантом, який широко використовують у харчовій промисловості. Одним з основних етапів виробництва є вторинне випаровування розчину нітриту калію з промивними водами з отриманням високої концентрації цього компоненту у продукті. Таким чином, актуальним є створення математичного забезпечення процесу із підтриманням належної концентрації нітриту калію у продукті [1].

Мета роботи полягає у створенні математичної моделі випарного реактора у процесі виробництва нітриту калію для її подальшого використання в системі керування. Розрахункова схема випарного реактора зображена на рисунку.



Розрахункова схема випарного реактора:

G_{in} , G_{out} , G_s , G_k – витрати вхідного та вихідного розчину, пари й конденсату відповідно; Q_{in} , Q_{out} – концентрації вхідного та вихідного розчину відповідно; c_{in} , $c_{\epsilon,f}$, c_k – питомі теплоємності вхідного та вихідного розчину і конденсату відповідно; Θ_{in} , Θ_{ss} , Θ_k , Θ_{out} – температури вхідного розчину, вторинної пари, конденсату та вихідного розчину відповідно; r_{ss} – питома теплота пароутворення речовини; r_s – питома теплота конденсації; W_{ss} – витрата вторинної пари; Θ – температура кипіння розчину KNO_2 з промивними водами; M – маса розчину

У випарний реактор подають розчин нітриту калію з промивними водами. Процес випаровування здійснюють первинною парою, яку подають у випарний реактор [1].

Регульованою величиною є концентрація упареного розчину KNO_2 на виході з реактора (Q_{out}), керувальною дією є витрата пари у випарному реакторі (G_s). Збуреннями є концентрація KNO_2 на вході у випарний реактор (Q_{in}) та витрата розчину KNO_2 на вході (G_{in}). Контрольовані змінні – температура кипіння розчину в реакторі (Θ) та витрата вторинної пари (W_{ss}).

При моделюванні було прийнято такі припущення [1, 2]: втратами тепла в навколишнє середовище та зміною теплоти пароутворення в межах випарного реактора можна знехтувати; температурну залежність від концентрації при сталому тиску прийнято лінійною; вплив мішалки на фізичні процеси не враховується; температури вихідного розчину та конденсату однакові й дорівнюють температурі кипіння: $\Theta_k = \Theta_{out} = \Theta$.

Враховавши наведені припущення, запишемо математичну модель випарного реактора як систему матеріальних та теплових балансів.

$$\begin{cases} G_{in}Q_{in} - (G_{in} - W_{ss})Q_{out} = M \frac{dQ_{out}}{dt}; \\ G_s r_s - G_K c_K \Theta + G_{in} c_{in} \Theta_{in} - (G_{in} - W_{ss}) c_{eff} \Theta - W_{ss} r_{ss} = M c_{eff} \frac{d\Theta}{dt}; \\ \Theta = a + b Q_{out}, \end{cases}$$

де $b = \frac{\Theta_{\max} - \Theta_{\min}}{G_{out\max} - G_{out\min}}$, $[\Theta_{\min}, \Theta_{\max}]$ і $[G_{out\min}, G_{out\max}]$ – діапазони змінних, в яких дійсна лінеаризація цієї залежності.

Після лінеаризації наведених рівнянь та перетворення за Лапласом отримаємо передавальні функції за каналами керування «витрата пари – концентрація розчину на виході» та збурення: «концентрація розчину на виході – концентрація розчину на вході», «витрата розчину на виході – витрата розчину на вході»

Отримана математична модель дозволить визначити властивості обраних каналів та врахувати їх у системі керування випарним реактором.

1. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології / М. В. Лукінюк. - К.: НТУУ «КПІ», 2008. 236 с. : іл. - Біблігр.: с. 230–231. 200.

2. Математичне моделювання процесів і систем [Електронний ресурс] : Навч. посіб. / А. І. Жученко, Л. Р. Ладієва, М. С. Піргач, Я. Ю. Жураковський; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 5,6 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 351 с.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ РОБОЧОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛАПАНА ЗА ДОСЛІДНИМИ ДАНИМИ

Путятін Р. О., Цапар В. С.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, r.putyatin-ktpza24@lil.kpi.ua

У технологічному перебігові зневоднювання та знесолювання нафти на електрознесолювальній установці, серед інших величин, важливо керувати витратами рідин. Основний спосіб – за допомогою регулювального клапана. Не всі вони мають лінійну робочу характеристику (залежність витрати від ступеня відкриття), а отримати докладні відомості про неї не завжди можливо. Тоді доводиться ідентифікувати її на основі даних про технологічний перебіг.

Ми користуватимемось даними про залежність витрати нафти від ступеня відкриття клапана, наведені в [1]. Особливість задачі в тому, що маєм очевидну вимогу до характеристики клапана, що впливає з фізики: характеристика має проходити через нуль (як відомо, крізь закритий клапан вода не тече).

На рис. 1 наведено статичні дані про залежність витрати нафти від ступеня відкриття клапана, а також графіки наближувальних (апроксимувальних) многочленів 1-го, 2-го та 3-го порядків, отриманих методом найменших квадратів, а також середні квадрати похибки для кожного з наближень (апроксимацій). Їхня вада тому, що вони через нуль не проходять, а отже – непридатні.

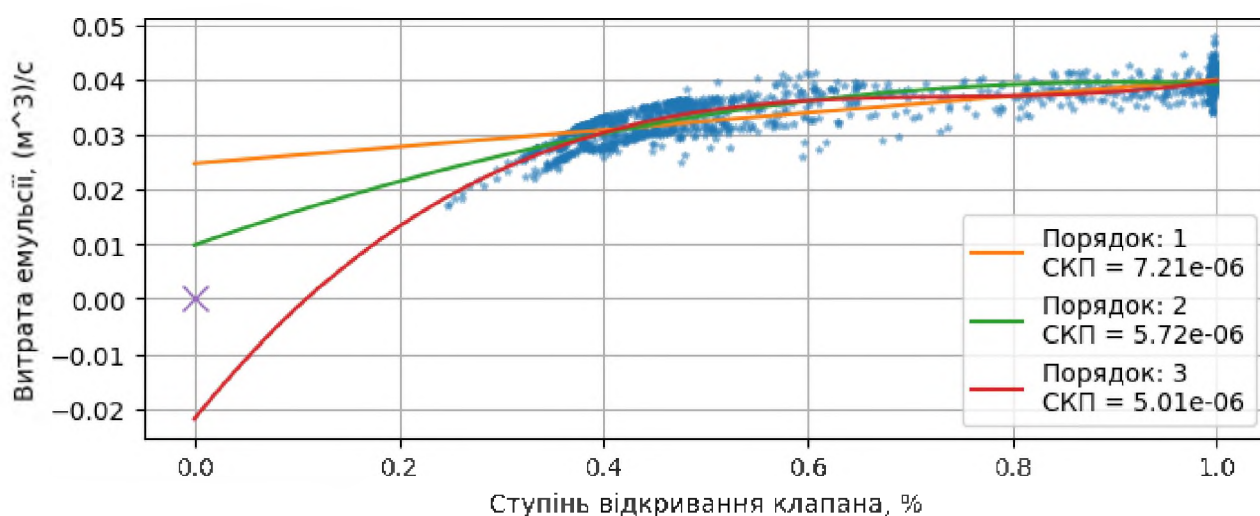


Рис. 1. Степеневі наближення (апроксимації) робочої характеристики клапана

Дані вкладаються в графік, що нагадує характеристику швидкодіяного клапана. Поширений опис його робочої характеристики як квадратнокореневої, проте деякі джерела розрізняють їх [2]. Тож і ми випробуємо два підходи до наближення робочої характеристики. Перший – використати функцію

$$f(x) = c(\sqrt{ax + b} - \sqrt{b}),$$

де x – ступінь відкриття клапана, а a , b , c – невідомі невід’ємні числа. Умовна назва – «незміщений квадратний корінь». Другий доданок у дужках забезпечує виконання вимоги про «фізичність» отриманої характеристики. Другий підхід полягає в тому, щоб ідентифікувати дані функцією $f(x)$, що не обов’язково

проходить через нуль, а потім визначити пряму, що проходить через нуль і дотикається до графіка в наперед невідомій точці $(x_0, f(x_0))$. Для другого підходу ми скористаємось отриманим раніше кубічним наближенням, а також функціями

$$f(x) = c \sqrt{ax + b} + d,$$

$$f(x) = c \ln(ax + b) + d,$$

де d – ще одне невідоме число. У цьому разі параметри можуть бути й від’ємні, проте ми наклали інше обмеження: $ax_{\text{найм}} + b > 0$. Тут $x_{\text{найм}}$ – найменше значення ступеня відкриття, наявне у вибірці. Невідомі параметри знайшли методом довірчих областей.

Щоб визначити точку дотику для кожного з графіків, ми скористалися відомим із математичного аналізу виразом для дотичної в точці $(x_0, f(x_0))$:

$$y = f'(x_0)(x - x_0) + f(x_0).$$

Потім підставили $y = 0$ і методом січних розв’язали отримані нелінійні рівняння відносно абсциси точки дотику x_0 . На рис. 2 наведено графіки отриманих кусково-гладких наближень для робочої характеристики клапана.

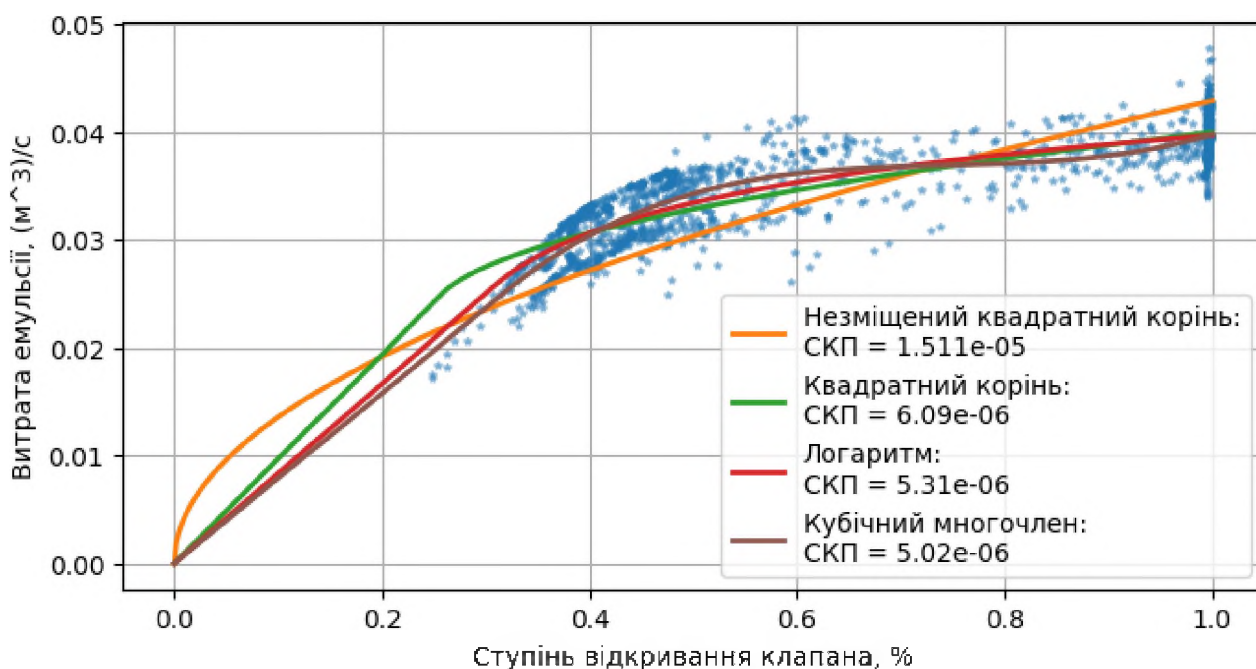


Рис. 2. Кусково-гладкі наближення робочої характеристики клапана

Отже, найкраще наближення – на основі кубічного многочлена. Тож для моделювання робочої характеристики клапана користуватимемось виразом

$$f(x) = \begin{cases} 0,079 x, & 0 < x \leq 0,3139, \\ 0,13647 x^3 - 0,30549 x^2 + 0,23042 x - 0,02166, & 0,3139 < x \leq 1. \end{cases}$$

1. Perez H. D., Grandas G. G., Perez-Rodriguez H. Applied Advanced Control Systems for Electrostatic Dehydrators in the Upstream Oil Industry. SPE Latin American and Caribbean Health, Safety, Environment and Sustainability Conference, м. Bogotá, Colombia. 2015. URL: <https://doi.org/10.2118/174149-ms> (дата звернення: 09.03.2025).

2. Control Valves - Flow Characteristics. The Engineering ToolBox. URL: https://www.engineeringtoolbox.com/control-valves-flow-characteristics-d_485.html (дата звернення: 28.03.2025).

СИСТЕМА АНАЛІЗУ ДАНИХ У ВИРОБНИЦТВІ ГРАНУЛЬОВАНИХ ДОБРИВ НА ОСНОВІ ПРОТОКОЛУ *OPC UNIFIED ARCHITECTURE*

Цуркан В. О., Ярощук Л. Д.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, vtsurkan2002@gmail.com

Ефективне керування промисловими процесами вимагає як оперативного моніторингу в реальному часі, так і глибокого аналізу архівних даних, що дозволяє підвищити надійність обладнання та оптимізувати технологічні режими.

Розроблене програмне забезпечення для взаємодії з промисловими контролерами на основі протоколу *OPC Unified Architecture* призначене для забезпечення збору даних, їх централізованого збереження, гнучкої візуалізації та аналізу, а також високої продуктивності завдяки використанню асинхронної обробки.

Метою дослідження є створення інтегрованої програмної системи для моніторингу та аналізу даних з промислових контролерів на основі протоколу *OPC UA*, що дозволяє відстежувати динаміку технологічних процесів та стан обладнання. Для реалізації використано сучасні технології та засоби.

Протокол *OPC UA* був обраний, оскільки його можливості якнайкраще відповідали вимогам системи. Зокрема, він забезпечує модель даних з контекстом, що спрощує аналіз; має інтегровані механізми безпеки (автентифікація, шифрування), критично важливі для захисту промислових систем; пропонує високу інтероперабельність і масштабованість, необхідні для інтеграції обладнання та розвитку системи.

Серверна частина системи побудована на асинхронному фреймворку *FastAPI* (Python) для швидкої обробки запитів, *SQLAlchemy* для ORM-взаємодії з базою даних *PostgreSQL*, *Alembic* для управління міграціями схеми, та бібліотеці *asynccua* для асинхронної роботи з контролерами за протоколом *OPC UA*.

Клієнтська частина системи — це інтерактивний веб-інтерфейс (SPA) на базі *React*, що забезпечує швидку реакцію на команди без повних перезавантажень сторінки. Через нього користувачі реєструють контролери, візуалізують поточні дані (наприклад, індикаторами-"gauges") та аналізують історію за допомогою графіків і таблиць, обираючи потрібні часові діапазони. Взаємодія з сервером для отримання даних та надсилання команд відбувається через *API*.

Для зберігання конфігурацій та часових рядів даних використано *PostgreSQL*. Основні таблиці – “user” (керування доступом), “controller” (параметри контролерів *OPC UA*) та “controller_data” (значення параметрів з мітками часу).

Вони пов'язані для цілісності: “*controller_data*” посилається на “*controller*”, а “*controller*” – на “*user*”. Така структура забезпечує масштабованість та ефективний доступ.

Функціонально система надає авторизованим користувачам можливість реєструвати промислові контролери з їх параметрами *OPC UA*. Через веб-інтерфейс користувачі візуалізують поточні значення (наприклад, через індикатори-“*gauges*”) та аналізують історичні дані, гнучко обираючи часові діапазони і переглядаючи точні значення в табличному вигляді. Така інтерактивність значно полегшує виявлення закономірностей, діагностику відхилень та загальне розуміння технологічних процесів. Описана система призначена для отримання та аналізу технологічних змінних процесів гранулювання та висушування добрив у комбінованому обладнанні.

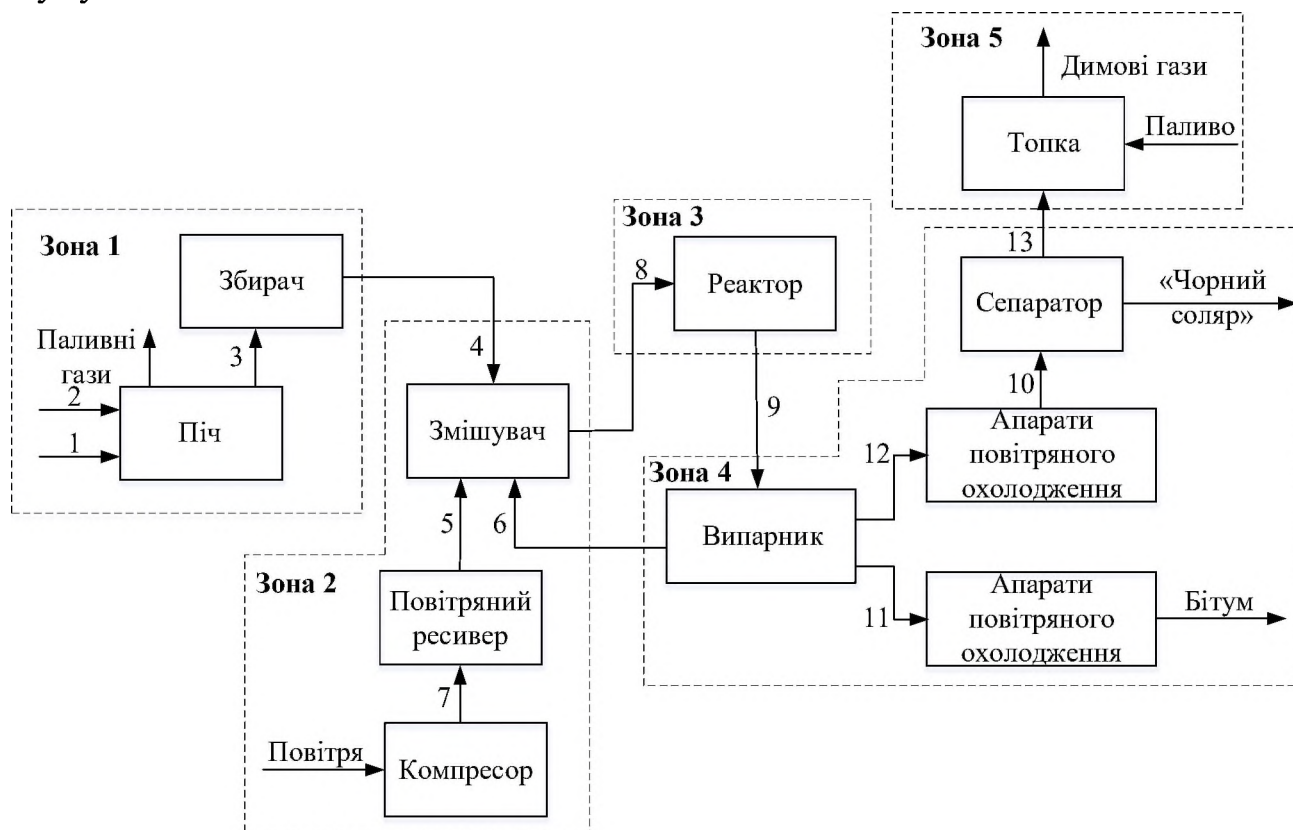
Розроблений програмний комплекс надає централізоване та доступне через веб рішення для моніторингу й аналізу історії технологічних процесів. Його практична значущість полягає у поєднанні таких властивостей: повністю асинхронної архітектури (*FastAPI* + *asyncua*) для високоефективного збору даних *OPC UA*; використання сучасного стеку відкритих технологій (*Python*, *PostgreSQL*, *React*), що забезпечує гнучкість, масштабованість та потенційно нижчу вартість володіння порівняно з пропрієтарними аналогами; інтегрованого веб-інтерфейсу для конфігурації, моніторингу в реальному часі та глибокого аналізу часових рядів, що спрощує доступ та використання системи для широкого кола користувачів.

ЗАДАЧІ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОКИСНЕННЯ НАФТОВОГО БІТУМУ В РЕЖИМІ НОРМАЛЬНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Клапійук Ю. В., Тюріна Є. О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, julymurka@gmail.com

Виробництво окиснених нафтових бітумів є важливим напрямом у нафтохімічній промисловості, оскільки забезпечує отримання високоякісних в'язучих матеріалів, які широко застосовують у дорожньому, покрівельному та будівельному секторах. Якість кінцевого продукту, залежить від точності дотримання параметрів технологічного процесу*, структура якого зображена на рисунку. Отже, актуальним стає впровадження системи автоматизації виробництва, яка забезпечить отримання бітуму належної якості.



Структурна схема процесу окиснення нафтового бітуму:

1 – гудрон; 2 – суміш паливного газу та повітря; 3, 4 – нагрітий гудрон; 5 – стиснене повітря; 6 – рециркуляційний окиснений бітум; 7 – повітря; 8 – суміш гарячого гудрону та рециркуляційного окисненого бітуму; 9 – суміш продуктів реакції; 10 – суміш побічних продуктів окиснення бітуму в рідкому стані; 11 – окиснений бітум; 12 – «чорний соляр»; 13 – відпрацьоване повітря та несконденсовані пари нафтопродуктів

* Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології». Київ: НТУУ «КПІ», 2008. 236 с. ISBN 978-966-622-287-2.

Метою дослідження є формування задач керування процесом окиснення нафтового бітуму, які забезпечать належну якість продукції в умовах нормальної експлуатації.

Зона 1 (підготовка речовини). В цій зоні відбувається підготовка гудрону до подальшого оброблення. У піч подають гудрон, який нагрівають до температури 260...270 °C. Нагріту речовину направляють у збирач, який використовують як проміжний бак між піччю та насосом. Задачею керування цієї зони є стабілізація температури у печі шляхом регулювання витрат потоків паливного газу з повітрям.

Зона 2 (формування реакційної суміші). У змішувач подають нагрітий гудрон, стиснене повітря та рециркулюючий окиснений бітум. В результаті починається реакція окиснення у пінній фазі. Компресор і повітряний ресивер забезпечують подачу стисненого повітря в змішувач. Задачею керування цієї зони є забезпечення заданого співвідношення витрат компонентів у змішувачі та підтримання стабільного тиску в зоні змішування.

Зона 3 (реакція окиснення). Суміш нагрітого гудрону, стисненого повітря та рециркулюючого окисненого бітуму направляють у реактор, де відбувається основна реакція окиснення. Задачею керування є підтримання заданих температури в реакторі та часу перебування суміші в активній зоні, що дозволить забезпечити стабільний перебіг реакції.

Зона 4 (фазове розділення). У випарнику відбувається розділення газової та рідкої фаз. Частину окисненого бітуму повертають у змішувач, надлишок спрямовують до апарату повітряного охолодження для зниження температури перед подачею у приймач. Газову фазу подають на стадії охолодження та розділення. У сепараторі відбувається остаточне розділення сконденсованих парів на рідку та газову фази. В нижній частині апарату накопичується «чорний соляр», який після охолодження використовують як паливну фракцію. Несконденсовані гази та пари відводять на допалювання. Задачами керування є підтримання температури випаровування, рівня бітуму у випарнику, температур охолодження і конденсації та рівень рідини в сепараторі в заданих межах.

Зона 5 (екологічна обробка). Перед викидом в атмосферу несконденсованих газоподібних продуктів окиснення, їх допалюють у топці, в якій необхідно забезпечити рівномірну подачу палива, а також відповідний температурний режим у зоні згоряння. Задачами керування є підтримання необхідної температури згоряння та витрат повітря й газоподібних компонентів.

Проведений аналіз показав, що основними задачами керування технологічним процесом є підтримання заданих температурних режимів у відповідних зонах, співвідношення потоків у змішувачі, а також стабілізація тиску та рівня рідини в апаратах. Це дозволить створити структуру системи автоматизації процесу, що забезпечить належну якість продукції та підвищить ефективність виробництва в цілому.

СТАБІЛІЗАЦІЙНА КОЛОНА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ГАСУ ВІД ДОМІШОК ВУГЛЕВОДНІВ ЯК ОБ'ЄКТ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

Сачевнік М. Л., Козаневич З. Я.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, sachevnikk@gmail.com

Неочищений газ (НГ) як один з продуктів прямого відгону нафти – це горюча сукупність рідких вуглеводнів (C8–C16) з температурою кипіння 150...250 °С. Склад цього продукту залежить як від способу його отримання, так і хімічної структури. Для застосування в авіації, ракетобудуванні та ін. необхідно очистити його від вуглеводнів, як низько киплячих (НКВ), так і високо киплячих (ВКВ). Очищення від ВКВ здійснюється гідрокрекінгом гасо продуктової суміші (ГПС), внаслідок чого ВКВ переходять в НКВ, з наступною двоступеневою сепарацією суміші НКВ і гасу. Остаточне відділення НКВ від гасу відбувається в стабілізаційній колоні (СК), де внаслідок ректифікації очищений від НКВ гас утворюється як кубова рідина в цій колоні.

СК як ректифікаційна колона характеризується великим запізненням між температурами своїх частин: верхньої (відведення НКВ), середньої (подача охолодженої відсепарованої ГПС після гідрокрекінгу) і нижньої (видача очищеного гасу). Внаслідок цього регулювання температур матеріальних потоків в них відбувається окремо і незалежно.

Якість очищеного гасу визначається стабільністю температури рідини внизу (куб) СК. Регулювання температури внизу СК відбувається витратою ГПС після гідрокрекінгу, що подається в кип'ятильник для нагрівання постійно циркулюючої через нього частини рідини з кубу СК. Основними збуреннями при цьому є витрата рідини, що стікає з першої тарілки в куб СК, і видача очищеного гасу з кубу СК. Розрахункову схему параметрів кубу СК зображено на рис. 1.

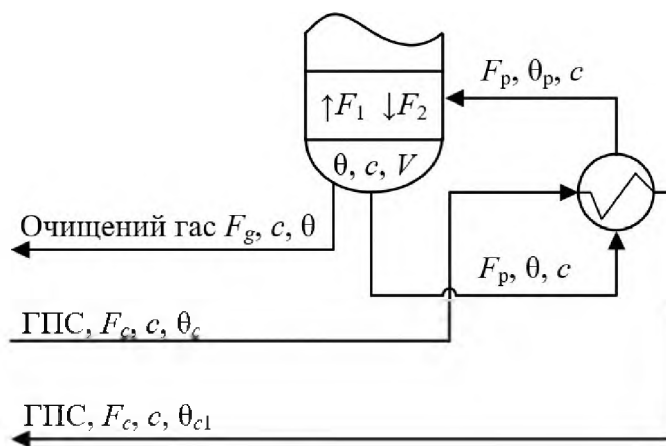


Рис. 1. Розрахункова схема параметрів кубу СК:

F_1 – витрата пари з кубу СК; F_2 – витрата рідини, що стікає з першої тарілки СК; F_p – витрата рідини з кубу СК, що постійно циркулює для нагріву в кип'ятильнику; F_c – витрата ГПС після гідрокрекінгу; F_g – витрата очищеного гасу; θ , V – температура і об'єм рідини в кубі СК; c – питома теплоємність рідини в кубі СК; θ_p – температура циркуляційного потоку на виході з кип'ятильника; θ_c і θ_{c1} – температури ГПС на вході і виході з кип'ятильника

Регульована величина – θ , проміжні змінні величини – θ_p , θ_{c1} , керування

F_c , збурення F_2 , F_p , F_g . Розглянемо можливість синтезу системи регулювання Θ , інваріантної до цих збурень. Це можуть бути два типи систем: комбінована або інваріантна системи.

Для синтезу комбінованої системи керування, інваріантної до конкретного збурення, необхідно виконати дві умови: збурення можна було виміряти і динамічний компенсатор (ДК), визначений з умов інваріантності, можна було реалізувати. Для повністю інваріантної системи потрібно реалізувати дві додаткові динамічні ланки, передавальні функції яких зв'язані між собою і з передавальною функцією регулятора. Збурення F_2 практично виміряти неможливо і для нього комбінована система не реалізується. Воно може претендувати на повністю інваріантну систему регулювання. Проведемо математичне моделювання системи регулювання Θ , на основі якого оцінимо можливість синтезу комбінованої системи.

Смності, що акумулюють найбільшу кількість тепла і впливають на зміну температур в динамічному режимі: рідина в кубі СК (1), циркуляційна рідина в кип'ятильнику (2), ГПС в кип'ятильнику (3). Для них складені теплові баланси, на основі яких отримані передавальні функції за каналами керування і збурення.

Теплові баланси:

$$F_2 c \Theta_2 - F_1(r + c \Theta) + F_p c (\Theta_p - \Theta) - F_g c \Theta = V \rho c d \Theta / dt, \quad (1)$$

$$F_p c \Theta - c_1 + 0,5 K S_p (\Theta_c + \Theta_{c1} - \Theta_p - \Theta) = (V_p \rho c / 2) d(\Theta + \Theta_p) / dt, \quad (2)$$

$$F_c c (\Theta_c - \Theta_{c1}) - 0,5 K S_p (\Theta_c + \Theta_{c1} - \Theta_p - \Theta) = (V_c \rho c / 2) d(\Theta_c + \Theta_{c1}) / dt. \quad (3)$$

З системи рівнянь (1) – (3) – після лінеаризації змінних, перетворення за Лапласом змінної часу та розв'язання отриманої системи лінійних рівнянь відносно регульованої величини як функції керування та збурення – знайдені передавальні функції $W_{F_c \Theta}(p)$ за каналом керування $F_c \rightarrow \Theta$ та $W_{F_g \Theta}(p)$ за каналом збурення $F_g \rightarrow \Theta$ і $W_{F_p \Theta}(p)$ за каналом $F_p \rightarrow \Theta$.

Передавальні функції ДК для збурень F_g і F_p мають однакову структуру:

$$W_{ДК F_g}(p) = -K_{F_g \Theta} [(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) - K_{\Theta c1 \Theta_p} K_{\Theta_p \Theta c1}] / K_{F_c \Theta c1} K_{\Theta c1 \Theta_p} K_{\Theta_p \Theta},$$

$$W_{ДК F_p}(p) = -K_{F_p \Theta} [(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) - K_{\Theta c1 \Theta_p} K_{\Theta_p \Theta c1}] / K_{F_c \Theta c1} K_{\Theta c1 \Theta_p} K_{\Theta_p \Theta} -$$

і не можуть бути фізично реалізованими. Для них можна поспробувати створити інваріантну до цих збурень систему керування, додаткові ланки якої $W_1(p)$ і $W_2(p)$, що забезпечують інваріантність (на рис. 2 позначені штрихом), мають відповідати рівності $W_1(p) = 1/R(p)W_2(p)$.

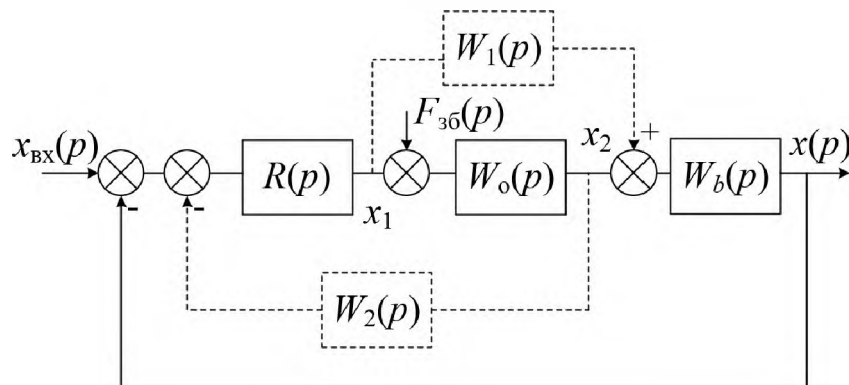


Рис. 2. Структурна схема інваріантної системи регулювання:

$x(p)$, $x_{BX}(p)$ – регульована величина і завдання; $F_{36}(p)$ – збурення; $R(p)$ – регулятор; $W_o(p)$ – об'єкт за каналом керування; $W_b(p)$ – вимірювач; $W_1(p)$, $W_2(p)$ – додаткові ланки

СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОТРИМАННЯ СИЛІКАТНОГО СКЛА

Семянiста В. О., Квiтка О. О.

КПІ ім. Iгоря Сiкорського, dolphin8347@gmail.com

Силікатне скло є одним із ключових матеріалів сучасної інфраструктури, промисловості та побуту. Завдяки доступності сировини та потребі у продукції, скляна галузь відіграє важливу роль в економіці України, особливо у даний час.

В роботі розглянуто виробництво силікатного скла шляхом розварювання силікат-брил в автоклаві. Рідке скло, отримане в такий спосіб, має унікальні властивості – високу прозорість та міцність, що має важливе значення для багатьох галузей, включаючи будівництво, електроніку, медицину тощо.

В технологічному процесі отримання силікатного скла одним з основних апаратів є автоклав*, в якому відбувається розварювання силікат-брил і протікають основні процеси утворення продукту. Температура вихідної суміші регулюється витратою пари, яка застосовується для нагріву суміші. На температуру вихідної суміші впливає також витрата сировини, яка відіграє роль збурення. Метою роботи є синтез системи керування температурою вихідної суміші рідкого скла в автоклаві.

На основі теплових балансів для суміші в апараті та для пари і отримано математичну модель даного ТОК у вигляді передавальних функцій за каналом «витрата пари – температура вихідної суміші» (керування):

$$W_{ker}(s) = \frac{21.405}{(1007s^2 + 482.389s + 1)}$$

та за каналом «витрата сировини – температура вихідної суміші» (збурення):

$$W_{zb}(s) = \frac{4.51 + 12.842s}{(1007s^2 + 482.389s + 1)}$$

Було виконано синтез системи керування із П- та ПІ-регуляторами методом Ціглера-Нікельса, за допомогою середовищ Simulink та *SISOTOOL* в пакеті *MatLab*. Найкращий із досліджених варіант перехідного процесу, як видно з таблиці, показала система з ПІ-регулятором, отримана в середовищі *SISOTOOL*.

Значення інтегрального критерію

Назва системи керування	Значення критерію
Ціглера-Нікольса	11652
Simulink	10923
SISOTOOL	9532

Таким чином, було синтезовано системи керування з ПІ-регулятором, що забезпечує бажану якість перехідного процесу, хоч і з невеликим перерегулюванням.

* Сіренко О. М., Шевчук В. Я. Технологія силікатних матеріалів : підручник / О. М. Сіренко, В. Я. Шевчук. Київ : Либідь, 2001. 328 с. ISBN 966-06-0215-6.

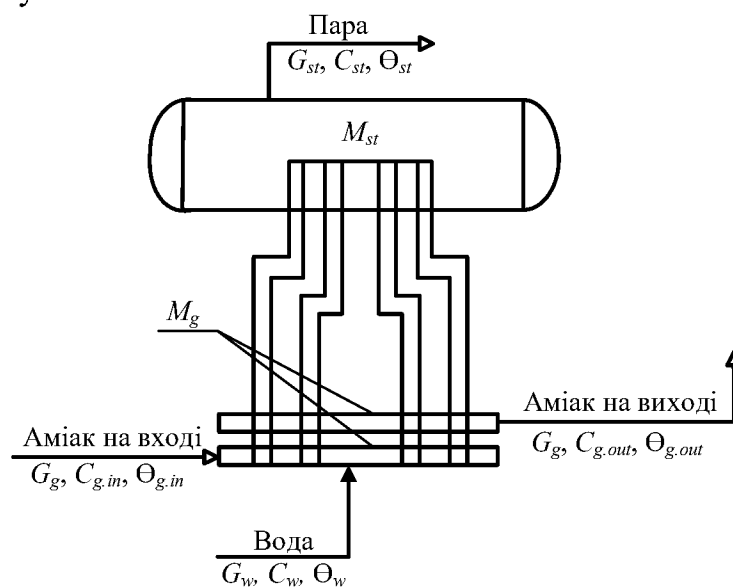
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОТЛА-УТИЛІЗАТОРА У ПРОЦЕСІ СИНТЕЗУ АМІАКУ

Труш А. С., Тюріна Є. О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Rixalts@gmail.com

Аміак (NH_3) широко застосовують у сучасній хімічній промисловості, зокрема у виробництві азотних добрив і нітратної кислоти. Рідкий аміак також використовують як холодоагент у холодильних установках. У процесах отримання цієї речовини важливим є підтримання належних температурних режимів, отже актуальною є розробка математичного забезпечення для котла-утилізатора як одного з основних апаратів технологічного процесу, що дозволить підвищити енергоефективність та забезпечити раціональне використання ресурсів на виробництві.

Метою роботи є створення математичної моделі котла-утилізатора у процесі синтезу аміаку для її застосування в системі керування. Розрахункову схему апарату наведено на рисунку.



Розрахункова схема котла-утилізатора:

G_g , G_w , G_{st} – витрати аміаку, води та пари відповідно; $C_{g.in}$, $C_{g.out}$, C_w , C_{st} – теплоємності аміаку на вході і виході з апарату, води та пари відповідно; $\Theta_{g.in}$, $\Theta_{g.out}$, Θ_w , Θ_{st} – температури аміаку на вході і виході з апарату, води та пари відповідно; M_{st} – маса пари; M_g – маса циркуляційного газу

В котел-утилізатор подають циркуляційний газ з температурою 650 К. Його поступово охолоджують водою у декілька послідовних етапів з отриманням пари, яку використовують в інших технологічних ланках [1].

Основним регульованим параметром є температура газу на виході з котла-утилізатора ($\Theta_{g.out}$), керувальний вплив здійснюють витратою води (G_w), контрольованою змінною є температура пари (Θ_{st}). Основними збуреннями є витрата циркуляційного газу (G_g) та температура газу на вході ($\Theta_{g.in}$).

При моделюванні прийнято такі припущення [3]: теплообмін між газом та водою відбувається через металеву стінку, акумулювальна здатність якої несуттєва у порівнянні з загальним тепловим потоком, тому її можна не враховувати; теплофізичні властивості речовин вважаються сталими в межах робочих температур; можна знехтувати втратами тепла в навколишнє середовище; температурний розподіл в апараті вважається лінійним; об'єкт із зосередженими параметрами.

З урахуванням вказаних припущень, наведемо рівняння теплових балансів.

Тепловий баланс для потоку води:

$$G_w C_w \Theta_w - G_w r - G_{st} C_{st} \Theta_{st} + KS \left(\frac{\Theta_{g.in} + \Theta_{g.out}}{2} - \frac{\Theta_w + \Theta_{st}}{2} \right) = \frac{M_{st} C_{st}}{2} \frac{d(\Theta_w + \Theta_{st})}{dt},$$

де K – коефіцієнт теплопередачі; S – площа поверхні теплопередачі.

Тепловий баланс для потоку циркуляційного газу:

$$G_g C_{g.in} \Theta_{g.in} - G_g C_{g.out} \Theta_{g.out} - KS \left(\frac{\Theta_{g.in} + \Theta_{g.out}}{2} - \Theta_{st} \right) = \frac{M_g C_g}{2} \frac{d(\Theta_{g.in} + \Theta_{g.out})}{dt}.$$

Після лінеаризації диференціальних рівнянь і перетворення за Лапласом, отримаємо передавальні функції за каналами керування: «витрата води на вході – температура газу на виході» та збурення: «температура газу на вході – температура газу на виході», «витрата циркуляційного газу – температура газу на виході» відповідно:

$$W_{G_w, \Theta_{g.out}}(s) = \frac{\Theta_{g.out}(s)}{G_w(s)}, W_{\Theta_{g.in}, \Theta_{g.out}}(s) = \frac{\Theta_{g.out}(s)}{\Theta_{g.in}(s)}, W_{G_g, \Theta_{g.out}}(s) = \frac{\Theta_{g.out}(s)}{G_g(s)}.$$

Передавальні функції обраних каналів керування будуть використані для налаштування регуляторів у системі керування котлом-утилізатором.

1. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології». К.: НТУУ «КПІ», 2008. 236 с. ISBN 978-966-622-287-2.

2. Наукові хімічні дослідження та експертизи. Що потрібно знати про аміак? [Електронний ресурс]. URL: <https://otava.ua/blog/post/chto-neobhodimo-znat-ob-ammiake>.

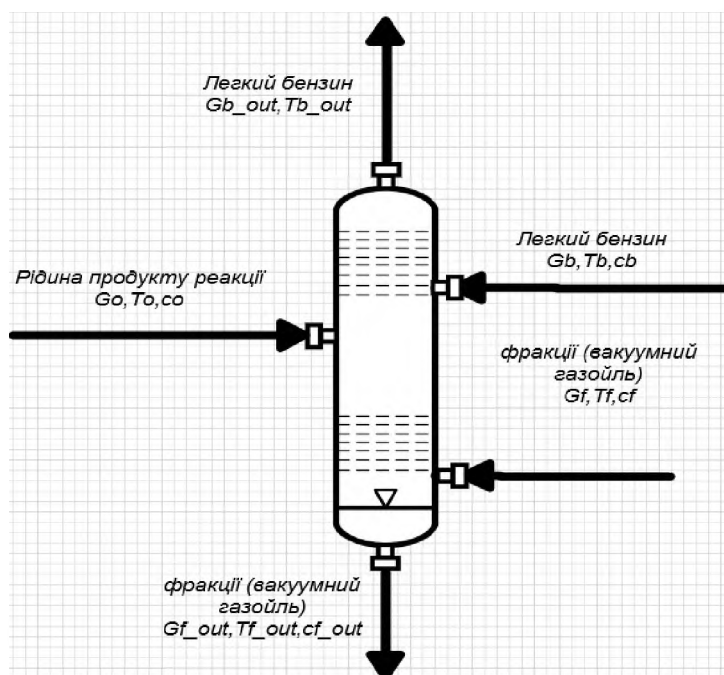
3. Математичне моделювання процесів і систем [Електронний ресурс] : Навч. посіб. / А. І. Жученко, Л. Р. Ладієва, М. С. Піргач, Я. Ю. Жураковський; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 5,6 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 351 с.

МОДЕЛЮВАННЯ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ У ПРОЦЕСІ ГІДРОКРЕКІНГУ У СТАЦІОНАРНОМУ ШАРІ КАТАЛІЗАТОРА

Геращенко В. В., Запорожець Ю. А.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, valerijgerashenko@gmail.com

Моделювання представленої на рисунку ректифікаційної колони у процесі гідрокрекінгу у стаціонарному шарі каталізатора спрямоване на дослідження її роботи в умовах статичного та динамічного режимів. Основна мета – оцінити ефективність розділення продуктів гідрокрекінгу на фракції в залежності від ключових параметрів (температури, витрати пари, тиску, складу сировини).



Розрахункова схема ректифікаційної колони:

G_o , G_b , G_f — витрата рідини продукту реакції, легкого бензину і фракції (вакуумний газойль), що надходить до колони; T_o , T_b , T_f — температура рідини продукту реакції, легкого бензину і фракції; c_o , c_b , c_f теплоємність рідини продукту реакції, легкого бензину і фракції; G_{b_out} , G_{f_out} — витрата легкого бензину, фракції (вакуумний газойль), що виходить із колони; T_{b_out} , T_{f_out} — температура легкого бензину, фракції на виході

Гідрокрекінг є важливим етапом глибокої переробки нафти, що дозволяє отримувати високоцінні дистиляти з важких фракцій. Умови процесу, зокрема температура, тиск і склад каталізатора, безпосередньо впливають на склад утворених продуктів, тому моделювання допоможе оптимізувати роботу колони для підвищення виходу цільових фракцій. Завдання включає визначення теплового та матеріального балансів, а також динамічних характеристик об'єкта, що дозволить оцінити стабільність і керованість процесу при зміні параметрів.

До колони надходить рідина продукту реакції (очищені газойлі з певною температурою) (G_o, T_o). На виході з верху колони ми отримуємо легкий бензин (G_{b_out}) який після охолодження та сепарації частково знову повертається назад у наш об'єкт.

Також на виході колони з низу ми отримуємо фракції (вакуумні газойлі) (G_{f_out}), які після обробки в трубчастій печі знову повертаються назад до ректифікаційної колони.

Сумарна маса вхідних потоків дорівнює сумарній масі вихідних потоків:

$$G_o + G_b + G_f = G_{b_out} + G_{f_out}.$$

Ентальпія всіх вхідних потоків дорівнює ентальпії вихідних потоків:

$$G_o c_o T_o + G_b c_b T_b + G_f c_f T_f = G_{o_out} c_o T_{o_out} + G_{f_out} c_f T_{f_out}.$$

Втрати тепла в колоні вважаються мінімальними і не враховуються. Складність розподілу легкого бензину і вакуумного газойлю ідеалізується для статичного аналізу.

Витрата вакуумного газойлю на виході:

$$G_{f_out} = G_o + G_b + G_f - G_{o_out}.$$

Зміна температури фракції залежно від зміни витрати очищеної рідини.

Баланс тепла для колони:

$$G_o c_o T_o + G_b c_b T_b + G_f c_f T_f - G_{f_out} c_f T_{f_out} = \rho V c_f \frac{dT_f}{dt}$$

Передавальна функція нашого об'єкта:

$$\frac{T_f(s)}{G_o(s)} = \frac{-(c_o T_o - c_f T_f)}{\rho V c_f s + (G_{b_out} - G_o - G_b) c_f}$$

Коефіцієнт підсилення:

$$K = \frac{-(c_o T_o - c_f T_f)}{c_f (G_{b_out} - G_o - G_b)}$$

Стала часу:

$$\tau = \frac{\rho V}{(G_{b_out} - G_o - G_b)}$$

Тоді

$$\frac{T_f(s)}{G_o(s)} = \frac{K}{\tau s + 1}$$

Отриману математичну модель можна використовувати для дослідження вибраних каналів керування ректифікаційною колоною для підвищення ефективності автоматизації процесом ректифікації.

1. Математичне моделювання процесів і систем [Електронний ресурс] : Навч. посіб. / А. І. Жученко, Л. Р. Ладієва, М. С. Піргач, Я. Ю. Жураковський; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,6 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 351 с.

2. Математичне моделювання систем і процесів [Текст]: Методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів спеціальностей: «Обладнання лісового комплексу»; «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»; «Машини і технології пакування» / Уклад.: М. С. Піргач, Я. Ю. Жураковський. К.: НТУУ «КПІ», 2014. 42 с.

ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ «НАГРІВАННЯ СУМІШІ В ПЕЧІ»

Бугай Д. І., Курбан С. В., Складанний Д. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, dimabuhaiwork@gmail.com

Технологічні процеси, що включають теплообмін, є невід'ємною частиною багатьох галузей промисловості, починаючи від хімічної та нафтопереробної до харчової. Ефективне та точне керування температурними режимами в таких процесах є критично важливим для забезпечення якості продукції, оптимізації енергоспоживання, підвищення безпеки та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Особливе місце серед згаданих процесів займають процеси нагрівання та випалювання різноманітних речовин та сумішей у печах [1].

Процес нагрівання суміші в печі є складним об'єктом керування, на динаміку якого впливає велика кількість взаємопов'язаних факторів. Розробка та впровадження ефективних систем автоматичного керування процесом нагрівання суміші в печі є актуальною задачею. Синтез оптимальних алгоритмів керування та їх практична реалізація на базі сучасних засобів автоматизації є необхідними кроками для підвищення ефективності та надійності технологічних процесів.

Очевидно, що технологічна реалізація печі в умовах навалльної лабораторії мікропроцесорних засобів автоматизації не вбачається можливою. З метою навчання студентів створено імітаційний лабораторний стенд «Нагрівання суміші в печі», який дозволяє відпрацьовувати принципи регулювання температурою за допомогою промислових засобів автоматизації.

Навчальна лабораторія створювалася на базі контролерів *MaxyCon Flexy-S2* вітчизняного виробництва [2]. Такі контролери мають ряд безсумнівних переваг, які обумовлюють їх використання в навчальному процесі. Проте їх компактність та помірна ціна, очевидно, накладають певні обмеження на функціональність. Тому розроблення лабораторних стендів, що імітують технологічні об'єкти, які керуються таким контролером є аксіальною задачею.

Імітаційний лабораторний стенд розробленню якого присвячена робота, імітує одноконтурну систему керування тепловим об'єктом [3]. Зона нагрівання печі імітується на такому стенді лампою розжарювання потужністю 150 Вт. Контроль температури здійснюється за допомогою термоперетворювача опору *Pt1000*, який може без перетворення приєднуватися до контролера з використанням його універсального входу *AIDI* [2]. Таким чином сигнал про значення температури передається від імітованого об'єкту керування на контролер.

Крім того, контролер має обмеження на вихідні аналогові сигнали (*AO*) – лише сигнал напруги 0...10 В. Тому в ролі виконавчого механізму використано твердотільне реле *BERM SSR-10 VD*, яке керується сигналом напруги 0...10 В

постійного струму та керує напругою 0...250 В змінного струму. Керовані контакти реле приєднані до лампи розжарювання. Реалізований стенд зображено на рисунку.



Зовнішній вид імітаційного лабораторного стенда «Нагрівання суміші в печі»

Під час розроблення стенду надано перевагу відкритому способу прокладання електричних проводок із застосуванням захисних коробів. На нашу думку, це дає можливість студентам наочно ознайомитися з конструкцією імітаційного стенду, що буде сприяти кращому розумінню задачі розроблення системи керування ним.

Для забезпечення додаткової безпеки студентів та працівників лабораторії стенд виготовлено ізольованих матеріалів та змонтовано на висоті, недосяжній для людини, яка стоїть на підлозі.

Таким чином, запропонований стенд повністю імітує тепловий одноконтурний об'єкт керування, дозволяє повноцінно підключатися до наявного у лабораторії програмованого логічного контролера та виконувати завдання з розроблення одноконтурних систем керування.

1. Жученко А. І. Ситніков О. В. Система керування тепловим режимом скловарної печі ванного типу. *Вісник НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»*. Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». 2018. № 1 (17). С. 123–128.

2. Вільно програмований контролер MaхуCon Flexy-S2-B1. ТОВ «РАУТ-Автоматизація», 2025, URL: <http://www.raut-automatic.kiev.ua/kontroll-ua/multipurpose-ua/easily-programming-ua/maхуcon-flexy-s2-platform-ua/maхуcon-flexy-s2-b1-ua.html> (дата звернення: 14.04.2025).

3. Теорія автоматичного керування : навчальний посібник / П. В. Леонт'єв та ін. ; за заг. ред. П. В. Леонт'єва. Суми : Сумський державний університет, 2024. 296 с. ISBN 978-966-657-987-7.

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ВИЯВЛЕННЯ МАСКУВАННЯ ДОСТУПНОСТІ

Титов П. О., Кузіков Б. О.

Сумський державний університет, stegaspasha@gmail.com, b.kuzikov@dl.sumdu.edu.ua

Забезпечення рівного доступу до інформації для всіх користувачів, у тому числі з вадами зору, є ключовим для створення інклюзивного цифрового середовища. Цифрова інклюзія та забезпечення доступності вебконтенту набувають все більшого значення у сучасному суспільстві. Вебдоступність передбачена багатьма сучасними стратегіями та законодавчими актами. В Україні діє Закон «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо забезпечення доступу осіб з особливими освітніми потребами до освітніх послуг» [1]; Директива (ЄС) 2016/2102 [2]. У цій галузі існує кілька стандартів, наприклад розділ 508 [3] і EN 301 549 [4] та Рекомендації щодо доступності вебконтенту (*WCAG*), що стали важливими кроками до створення інклюзивного цифрового середовища, але вони також відкрили нові вектори для кібератак.

Однією з таких загроз є явище маскування доступності (*accessibility cloaking*), що являє собою навмисне маніпулювання елементами вебсторінок, що вводять в оману користувачів допоміжних технологій та автоматизовані засоби перевірки доступності. Це створює можливість для веброзробників, які діють несумлінно або не володіють належними знаннями у сфері цифрової доступності, формально дотримуватись вимог стандарту *WCAG*, фактично уникаючи забезпечення реальної інклюзивності вебресурсів.

Маскування доступності реалізується через кілька основних технік:

- приховування контенту за допомогою *CSS* властивостей *display: none*, *visibility: hidden* або перенесення елементів за межі екрану;
- використання некоректних значень у *aria*-атрибутах, а саме: *aria-hidden*, *aria-label*, *aria-describedby* тощо;
- створення тексту низької контрастності, який стає практично непомітним для користувачів з хорошим зором, але залишається доступним для скринрідерів;
- динамічне додавання або видалення елементів після завантаження сторінки;
- маніпуляції з фокусуванням елементів для введення в оману користувачів клавіатури.

Такі методи не лише підривають принципи інклюзії, але й створюють серйозні ризики для безпеки, а саме:

- маскують шкідливі посилання чи інструкції;
- дезинформують надаючи різний контент для звичайних користувачів та тих, хто використовує допоміжні технології;
- приховують форми збору даних, які можуть залишатися непомітними для звичайних користувачів;
- створюють ситуації, коли користувачі з інвалідністю отримують неповну або хибну інформацію.

Для виявлення маскування доступності необхідний комплексний підхід, а саме використання автоматизованих інструментів (*AXE-Core* або *WAVE*), ручний аудит, створення скриптів, що виявляють невідповідності між видимим та доступним контентом, моніторинг змін контенту та аналіз порядку фокусування.

У межах дослідження було створено додаток, що автоматично виявляє маркери маскування доступності. Цей додаток аналізує *DOM*-структуру сторінки, перевіряє використання *ARIA*-атрибутів з видимим текстом та порівнює візуальне відображення контенту з тим, що сприймається допоміжними технологіями.

Маскування доступності становить значну загрозу для цифрової інклюзії та безпеки, оскільки її мета полягає в тому, щоб зробити вміст однаково доступним для всіх користувачів, а не створювати окремі чи приховані враження. Запровадження комплексного підходу до виявлення таких маніпуляцій, регулярні аудити та навчання розробників є ключовими кроками для захисту користувачів допоміжних технологій.

1. «Про внесення змін до деяких законів України щодо доступу осіб з особливими освітніми потребами до освітніх послуг», Верховна Рада України, Закон № 2541-VIII, 6 вересня 2018 р. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2541-19#Text>.

2. «Директива (ЄС) 2016/2102 Європейського парламенту та Ради від 26 жовтня 2016 р. про доступність веб-сайтів і мобільних додатків органів державного сектору», Європейський Союз, 26 жовтня 2016 р. Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2016/2102/oj/eng>.

3. «Закони та політики щодо доступності ІТ», Section508.gov. Режим доступу: <https://www.section508.gov/manage/laws-and-policies/>.

4. ETSI (2021). EN 301 549 V3.2.1 (2021-03): Accessibility requirements for ICT products and services. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301500_301599/301549/03.02.01_60/-en_301549v030201p.pdf.

АВТОМАТИЗОВАНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА КАРАМЕЛІ РОЗРОБЛЕНИМ ПРОГРАМНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ

Касян Є. В., Запорожець Ю. А.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, zja-ihf@lil.kpi.ua

У проєкті розглянуто автоматизоване керування процесом виробництва карамелі за допомогою розробленого програмного забезпечення в середовищі *CODESYS*. Метою роботи було створення ефективної системи керування, яка забезпечує високу якість готової продукції, енергозбереження та зменшення впливу людського фактора. Технологічний процес виробництва карамелі охоплює дозування інгредієнтів, нагрівання та варіння сиропу, охолодження, формування і упаковку. Для автоматизації цих етапів було розроблено програму, яка виконується на програмованому логічному контролері (ПЛК), що взаємодіє з датчиками температури, рівня, тиску, а також виконавчими механізмами – клапанами та приводами.

Середовище *CODESYS* було обране завдяки підтримці стандарту *IEC 61131-3*, що дозволяє реалізовувати надійні логічні алгоритми, ПІД-регулятори та забезпечити зручну візуалізацію для оператора. У проєкті реалізовано автоматичне дозування, точне температурне регулювання сиропу, контроль послідовності процесів, аварійне відключення у разі позаштатних ситуацій, а також інтерфейс для моніторингу та налаштування параметрів. На рис. 1 зображено програму *Codesys 3.5*

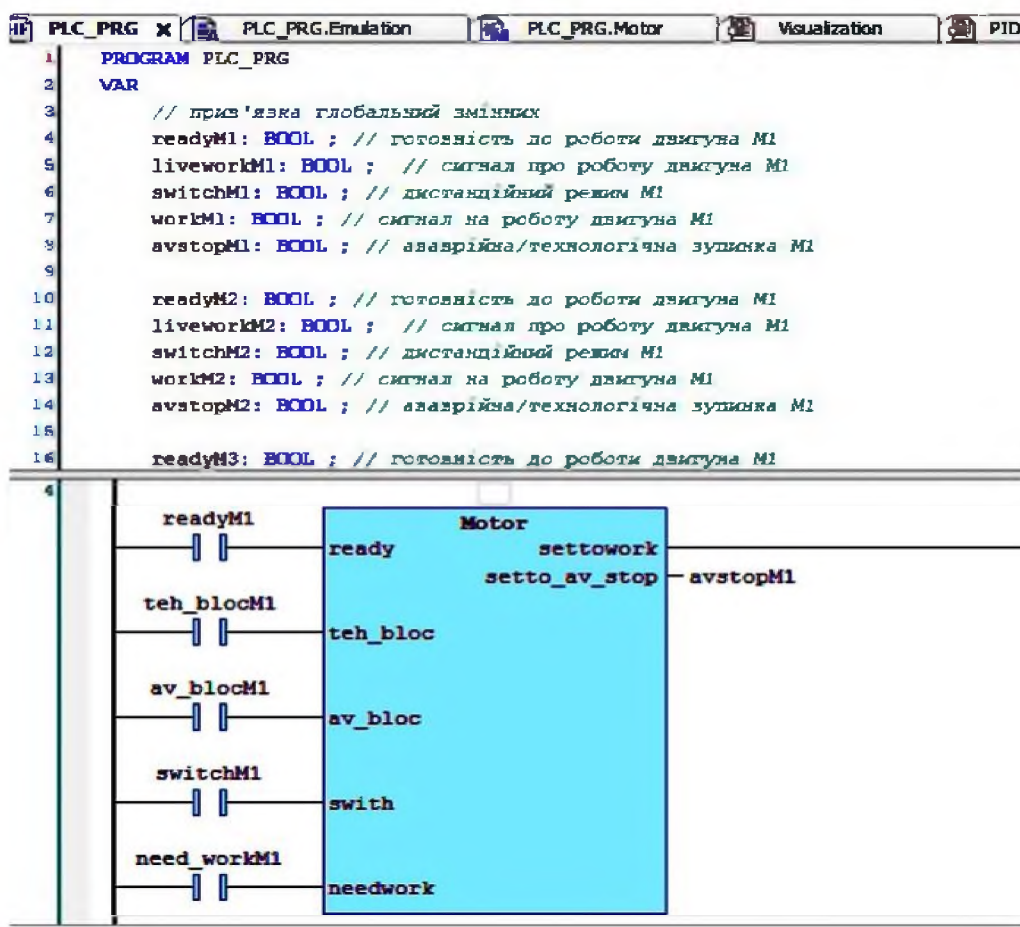


Рис. 1. Програма *Codesys 3.5* з готовою програмою

Окрему увагу було приділено створенню візуалізації в середовищі *CODESYS*. Візуалізація відображає основні етапи виробництва карамелі, поточні параметри процесу, стан обладнання та аварійні повідомлення. Це дозволяє оператору у реальному часі контролювати роботу системи, оперативно реагувати на зміни та забезпечувати стабільність виробничого циклу.

Результати впровадження показали ефективність системи: покращено стабільність процесу, зменшено втрати сировини та час на налаштування обладнання. Таким чином, запропоноване рішення демонструє можливості застосування *CODESYS* у харчовій промисловості й може бути адаптоване для інших подібних виробничих ліній. На рис. 2 зображено візуалізацію проєкту в програмі *Codesys 3.5*.



Рис. 2. Visualization до проєкту в програмі Codesys 3.5.

Яланецький В. А. Моделювання процесів і систем. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Інтегровані інформаційні системи» спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» / В. А. Яланецький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 1,5 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 134 с.

Кваско М. З. Проектування і дослідження систем автоматичного керування технологічними процесами [Текст] : навч. посіб./ М. З. Кваско, М. С. Піргач, Т. В. Аверіна. Київ : ІВЦ «Видавництво "Політехніка"», 2003. 360 с.

РОЗРОБЛЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО СТЕНДА КЕРУВАННЯ ДИСКРЕТНИМИ ВХІДНИМИ ТА ВИХІДНИМИ СИГНАЛАМИ

Мастрюков Т. М., Борисов Ю. М., Маківчук О. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, andreispasibo@gmail.com

В епоху стрімкого розвитку технологій автоматизації, дискретні сигнали продовжують відігравати фундаментальну роль. Ці сигнали, що характеризуються чітко визначеними станами – найчастіше «увімкнено» – «вимкнено», «є» – «немає» тощо. Дискретні сигнали забезпечують базовий рівень комунікації та контролю у складних автоматизованих системах від простих виробничих ліній до роботизованих виробничих комплексів.

У системах автоматизації дискретні сигнали використовуються для широкого спектра завдань. Вони інформують контролери про стан кінцевих вимикачів, датчиків присутності, кнопок керування та інших дискретних пристроїв. На основі цієї інформації приймаються рішення щодо запуску або зупинки двигунів, відкриття або закриття клапанів, активації виконавчих механізмів та виконання інших керуючих дій. У цьому контексті уміння студентів працювати з дискретними сигналами у системах автоматизації є надзвичайно актуальним. Розуміння принципів їх формування, передачі, обробки та застосування є ключем до проектування ефективних, надійних та гнучких автоматизованих систем, здатних відповідати зростаючим вимогам сучасної промисловості [1].

Основу лабораторії, для якої розроблявся навчальний стенд з керування дискретними входами та виходами є вільно-програмований логічний контролер *MaxyCon Flexy-S2-B1*, який має 10 дискретних релейних виходів та до 14 універсальних входів, які також можна використовувати як дискретні. Підключення контролера здійснюється через клемну колодку на 12 пар контактів для керуючих сигналів та по одній нульовій клемі на кожні три входи. Контролер програмується у середовищі *RAUT Qubix* з використанням мов *FBD* та *ST* відповідно до стандарту IEC 61131-3 [2]. Крім того, розроблений стенд може мати широке застосування для контролерів, які програмуються графічною мовою *LD*.

Для навчальних цілей використовують віртуальні лабораторії та навчальні стенди, які програмно імітують роботу об'єкту з контролером та підключених до нього дискретних пристроїв. Це дозволяє студентам експериментувати з різними сценаріями без ризику пошкодження реального обладнання. Для простих випадків апаратної імітації дискретних входів можна використовувати звичайні електричні перемикачі або кнопки, підключені безпосередньо до входів контролера. Для створення більш складних комбінацій вхідних сигналів можна використовувати панелі з тумблерами або DIP-перемикачами..

Конструктивно, розроблений навчальний стенд складається з корпусу, на якому змонтовані три вимикачі КП-2 220 різних кольорів, які вмикають сигнали дискретних входів. Про це сигналізують відповіді лампи нижнього ряду. Шість ламп верхнього ряду типу *E.AD22.24* показують появу сигналу на відповідних дискретних виходах. Зовнішній вигляд навчального стенду показано на рисунку.



Зовнішній вигляд імітаційного лабораторного стенда «Дискретні входи та виходи»

Для забезпечення додаткової безпеки студентів та працівників лабораторії стенд виготовлено ізольованих матеріалів. Живлення стенда здійснюється безпечною напругою 24 В. Доступ студентів до струмопровідних частин стенда надійно заблоковано.

Для роботи з програмування контролера з використанням розробленого стенду можна запропонувати такі варіанти завдань:

- розробити програму мовою *FBD*, яка увімкне дискретний вихід 1 і 2, якщо є сигнал на вході 1, увімкне дискретний вихід 3 і 4, якщо є сигнал на вході 2 і вимкне усі дискретні виходи якщо увімкнеться сигнал на вході 3;
- розробити програму мовою *ST* яка визначить кількість увімкнених входів і з інтервалом в 1 секунду подасть відповідну кількість імпульсів на всі виходи.

Цей перелік завдань показує приклади, але не є вичерпним.

Таким чином, навчальний стенд забезпечує роботу трьох дискретних входів та шести дискретних виходів. Стенд дозволяє проводити дослідження з моделюванням та тестуванням основні логічні операції (AND, OR, NOT), досліджувати та моделювати затримки виконання команд. У результаті студенти набувають навичок конфігурування контролера та тестування дискретної логіки у реальному часі.

1. Теорія автоматичного управління. Дискретні системи керування: Лабораторний практикум : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О. А. Жученко, В. І. Бородин. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — 57 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35737> (дата звернення: 14.04.2025)

2. Вільно програмований контролер MaxyCon Flexy-S2-B1. ТОВ «РАУТ-Автоматизація», 2025, URL: <http://www.raut-automatic.kiev.ua/kontroll-ua/multipurpose-ua/easily-programming-ua/maxycon-flexy-s2-platform-ua/maxycon-flexy-s2-b1-ua.html> (дата звернення: 14.04.2025).

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ В ПРОЦЕСІ ДВОСТУПЕНЕВОГО ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ ГАЗІВ

Артеменко М. І., Плашихін С. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, artemenkokpiihf13@gmail.com

Технологічний процес виробництва сірки з газів, що містять сірководень, складається з двох стадій: очищення газів від шкідливих домішок і перероблення очищеного газу в сірку. Для добування сірководню з газів використовують сухі сорбенти, або так звані мокрі абсорбенти – розчини етаноламінів, карбонатів і фосфатів натрію та калію, аміаку.

У процесі двоступеневого очищення природних газів ключовим апаратом є холодильник, який забезпечує оптимальні умови для відділення домішок, таких як CO_2 і H_2S , підтримуючи стабільність температурних режимів та термодинамічну рівновагу. В холодильнику відбувається процес охолодження розчину сірководню за допомогою води.

На рис. 1 наведено розрахункову схему холодильника. Зверху в апарат подають розчин сірководню, знизу в трубний простір – воду. Охолоджений розчин сірководню спрямовують у абсорбер.

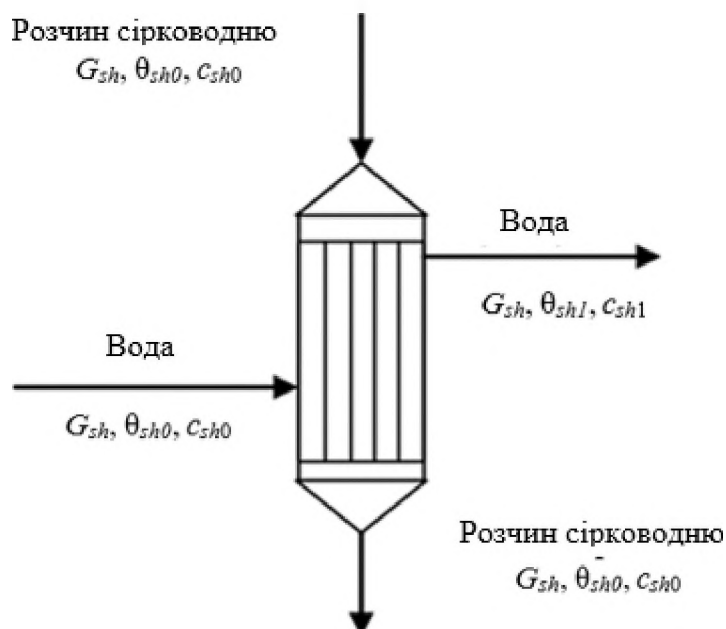


Рис. 1. Розрахункова схема холодильника:

G_{sh}, G_w – витрати розчину сірководню та води відповідно; $\theta_{sh0}, \theta_{sh1}, \theta_{w0}, \theta_{w1}$ – температури розчину сірководню, охолодженого розчину сірководню, води на вході і виході з холодильника відповідно; $c_{sh0}, c_{sh1}, c_{w0}, c_{w1}$ – питомі теплоємності розчину сірководню, охолодженого розчину сірководню, води на вході і виході з холодильника відповідно

Основним регульованим параметром є температура охолодженого розчину сірководню на виході з холодильника θ_{sh1} , керувальний вплив здійснюють витратою води G_w . Основним збуренням виступає температура θ_{sh0} і витрата G_{sh} розчину сірководню на вході в теплообмінник. Контрольована змінна – температура води на виході з апарата θ_{w1} .

Складемо рівняння теплових балансів.

Для розчину сірководню:

$$G_{sh}c_{sh0}\theta_{sh0} - G_{sh}c_{sh1}\theta_{sh1} - KS(\theta_{sh1} - \theta_{w1}) = 0. \quad (1)$$

де K – коефіцієнт теплопередачі, S – площа поверхні теплообміну.

Для води:

$$G_w c_{w0} \theta_{w0} - G_w c_{w1} \theta_{w1} + KS(\theta_{sh1} - \theta_{w1}) = 0. \quad (2)$$

З рівняння (2) визначимо:

$$\theta_{w1} = \frac{G_w c_{w0} \theta_{w0} + KS \theta_{sh1}}{G_w c_{w1} + KS}.$$

Підставимо отриманий вираз в рівняння (1) та отримаємо залежність температури розчину сірководню на виході з холодильника від витрати води на вході:

$$\theta_{sh1}(G_w) = \frac{G_{sh}c_{sh0}\theta_{sh0} + G_w c_{w0} \theta_{w0} - G_w c_{w1} \theta_{w1}}{G_{sh}c_{sh0}}.$$

З урахуванням усіх числових констант, статична характеристика за вказаним каналом графічно зображена на рис. 2.

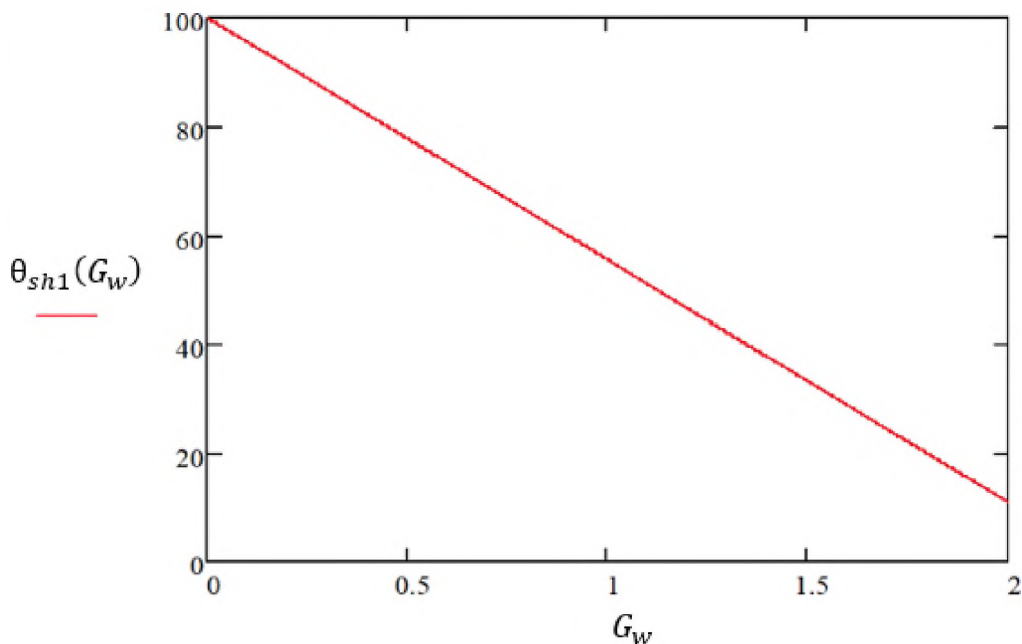


Рис. 2. Статична характеристика холодильника

Статична характеристика показує вплив керувальної дії – витрати води – на регульовану величину – температуру розчину сірководню на виході. У подальшому ця характеристика використовується для синтезу регуляторів у системі керування.

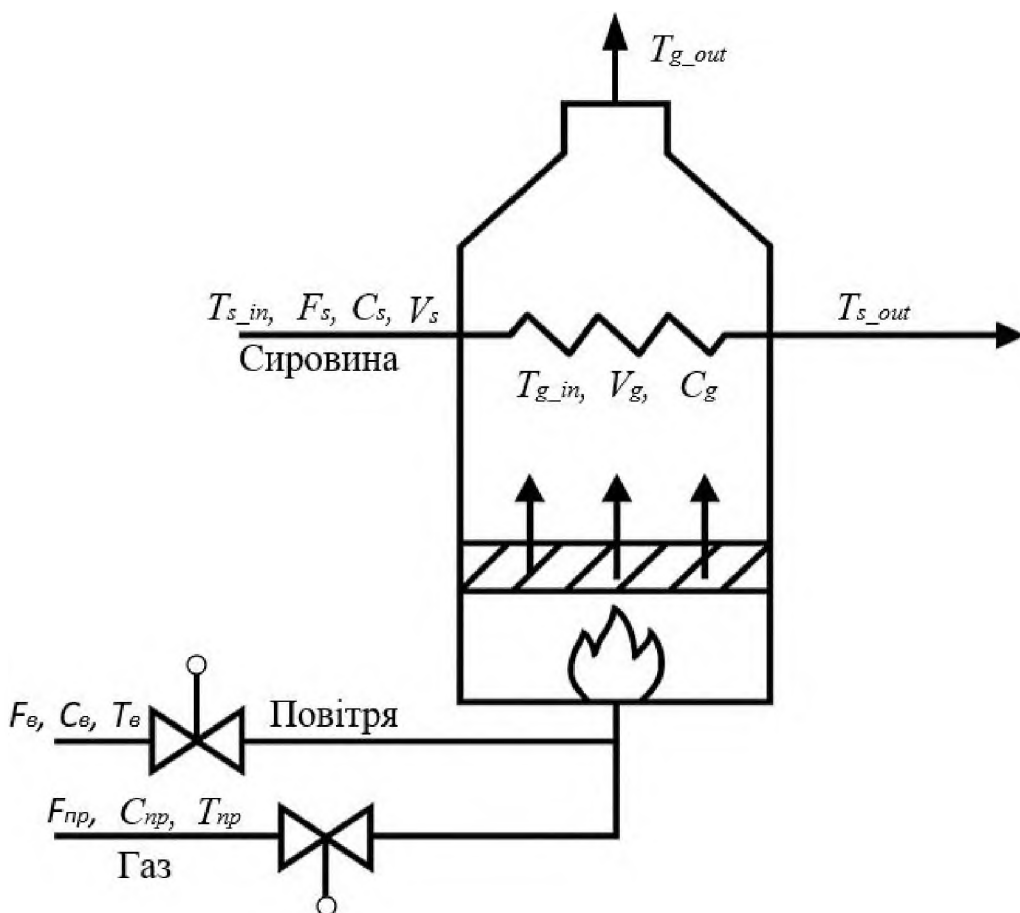
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕЧІ В ПРОЦЕСІ ГІДРОКРЕКІНГУ ІЗ ПСЕДОЗРІДЖЕНИМ ШАРОМ КАТАЛІЗАТОРА

Напханюк О. О., Ладієва Л. Р.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, sshnapkhaniuk@gmail.com

Процес гідрокрекінгу із псевдозрідженим шаром каталізатора є ключовим етапом глибокої переробки важких вуглеводнів у цільові продукти – бензин, дизельне паливо, легкі гази.

У роботі розглянуто математичне моделювання печі, що входить до складу установки гідрокрекінгу з псевдозрідженим шаром каталізатора. Піч виконує функцію попереднього нагріву сировини до температури реакції та забезпечення стабільного теплообміну між потоками сировини, повітря та димових газів.



Розрахункова схема трубчастої печі:

F_{np}, F_e, F_s – витрати пального газу, повітря, сировини; C_e, C_{np}, C_s, C_g – питома теплоємність повітря, паливного газу, сировини, внутрішніх газів; $T_e, T_{np}, T_{s_in}, T_{s_out}, T_{g_in}, T_{g_out}$ – температура повітря, паливних газів, сировини на вході і виході, вхідних газів на вході і виході відповідно; V_s, V_g – об'єм сировини і внутрішніх газів

Вхідні потоки: паливний газ – основне джерело теплоти, подається в пальник, повітря – для забезпечення повного згорання палива, сировина (вакуумний газойль). Керувальний вплив здійснюють витратою палива (F_{np}). Регульований параметр – температура сировини на виході з печі (T_{s_out}). Збуренням є температура сировини на вході (T_{s_in}).

У процесі моделювання було прийнято такі припущення: ізотермічність потоку сировини в межах теплообміну – немає внутрішньої градієнтності температури в трубі, стаціонарність витрат палива, повітря та сировини, втрати теплоти через стінки вважаються незначними.

Виведені рівняння динаміки:

рівняння динаміки теплового балансу топки

$$F_{np}(c_{np}T_{np} + r_{np}) + F_v c_v T_v - F_g c_g T_{g_in} = V_g \rho_g c_g \frac{dT_{g_in}}{dt};$$

рівняння динаміки теплового балансу топочних газів

$$F_g c_g (T_{g_in} - T_{g_out}) + \frac{\rho x V_g}{\tau} q - KS(T_{g_out} - T_{s_out}) = V_{g_out} \rho_g c_g \frac{dT_{g_out}}{dt};$$

рівняння теплового балансу сировини у змійовику

$$F_s c_s (T_{s_in} - T_{s_out}) + KS(T_{g_out} - T_{s_out}) = V_s \rho_s c_s \frac{dT_{s_out}}{dt},$$

де K – складений коефіцієнт теплопередачі; S – площа поверхні змійовика; ρ – густина газів; x – концентрація; q – питома теплота згорання палива; r_{np} – теплотворна здатність палива.

Після лінеаризації і перетворення за Лапласом, отримали передавальні функції за каналами: “витрата палива (ΔF_{np}) – температура сировини на виході (ΔT_{s_out}), температура сировини на вході (T_{s_in}) – температура сировини на виході (T_{s_out}):

$$W_1(p) = \frac{\Delta T_{s_out}(p)}{\Delta F_{np}(p)}; \quad W_2(p) = \frac{\Delta T_{s_out}(p)}{\Delta T_{s_in}(p)}$$

Виведена передавальна функція є основою для синтезу системи автоматичного регулювання.

1. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації. К. : НТУУ "КПІ", 2008. 236 с.

2. Математичне моделювання процесів і систем / А. І. Жученко, Л. Р. Ладієва, М. С. Піргач, Я. Ю. Жураковський. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021, 99 с. URLадієва Л. Р. Математичне моделювання печі в процесі гідрокрекінгу із псевдозрідженим шаром каталізатора

АВТОМАТИЗОВАНА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ОПТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ГНУЧКИХ АЛЮМІНІЙ-ПОЛІІМІДНИХ НАДТОНКИХ МІКРОКАБЕЛІВ

Невлюдов І. Ш., Борщов І. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, igor.nevliudov@nure.ua

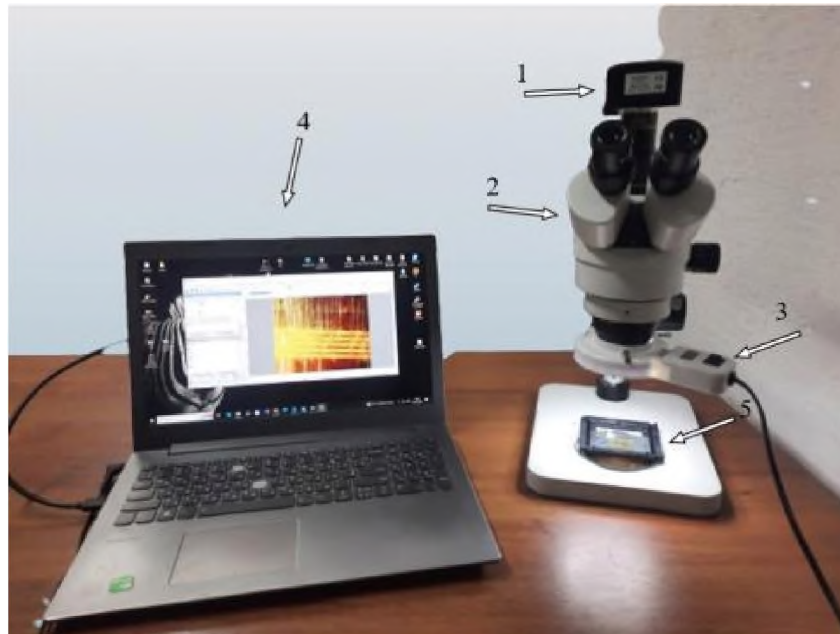
Оптичні методи контролю гнучких безадгезивних алюміній – поліімідних (Al-Pi) мікрокабелів з надтонкими (15...30 мкм) алюмінієвими провідниками знайшли широке застосування під час виробництва для виявлення таких дефектів як раковини, тріщини та вириви на тонких алюмінієвих провідниках. Максимально високі вимоги щодо надійності у першу чергу вимагають електронні засоби спеціального призначення, в тому числі сенсорні модулі для приймачів електромагнітних випромінювань, а саме рентгенівського і гама випромінювання, концентрованого сонячного випромінювання та ін. Метод автоматичного оптичного всебічно використовує технологію аналізу зображення та автоматичного управління процесом виявлення дефектів, що виникають у виробництві різноманітних гнучких друкованих плат та друкованих вузлів. Таким чином, можливості автоматизованих систем для оптичного контролю мікрокабелів спеціального призначення з надтонкою топологією дозволяють здійснювати суттєво більш якісний контроль на всіх етапах виробництва компонентів і складання друкованих виробів з виключенням грубих помилок, які допускаються під час ручного візуального контролю [1, 2, 3].

Метою даної роботи є створення інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) автоматизованого оптичного контролю для розширення її функціональних можливостей за рахунок комплексної автоматизації отримання та обробки інформації при виявленні критичних поверхневих дефектів, що впливають на якість і надійність надтонких гнучких мікрокабелів та перевірки відповідності провідних малюнків розроблених мікрокабелів вимогам конструкторської документації.

У роботі створено ІВС автоматизованого оптичного контролю, що може використовуватися на виробництві і має широкий набір функцій та характеристик, які дозволяють ефективно виявляти різноманітні дефекти при забезпеченні якості та надійності гнучких надтонких Al-Pi мікрокабелів.

Програмне забезпечення ІВС дозволяє виявляти оптичним методом у надтонкому мікрокабелю наскрізні протрави алюмінієвих провідників, наявність розривів, закороток у провідному малюнку мікрокабелю, наявність деформації алюмінієвих провідників у зонах зварювання, наявність забруднення, яке не може бути зняте, або залишків часток Al та Pi в зоні зварювання, а також відповідність геометричних параметрів мікрокабелю вимогам конструкторській документації.

Робоче місце для оптичного контролю параметрів надтонких мікрокабелів наведено на рисунку.



Робоче місце для автоматизованого оптичного контролю мікрокабелів:

- 1 – цифрова кольорова відеокамера для отримання зображення (*AmScope MU1403*);
 2 – мікроскоп (*Konus Crystal*); 3 – світлодіодний освітлювач (*TY-60*); 4 – ноутбук
 (*Lenovo IdeaPad 520-15 Ikb*); 5 – мікрокабель у рамці (пластикові рамки *TAB-70022*)

Фіксація та позиціонування гнучких мікрокабелів при оптичному контролі здійснюється за допомогою складної пластикової рамки *TAB-70022*.

ІВС забезпечує виконання основних вимог до перевірки геометричних розмірів високотехнологічних гнучких надтонких мікрокабелів на відповідність конструкторській документації та отримання і обробки інформації при виявленні критичних поверхневих дефектів, що впливають на якість і надійність надтонких гнучких Al-Pi мікрокабелів монолітних активних піксельних сенсорів (*MAPS*) піксельних сенсорів детекторних модулів нового покоління зі значно зниженою матеріаломісткістю та підвищеною роздільною здатністю для частинок високих енергій, що досліджуються [1]. ІВС протестовано при оптичному контролі надтонких мікрокабелів, які мають 128 тонких алюмінієвих ланцюгів з шириною порядку 60...95 мкм, крок 200 мкм та відстань між алюмінієвими провідниками близько 105...140 мкм.

1. Innovative microelectronic technologies for high-energy physics experiments / V. M. Borshchov, O. M. Listratenko, M. A. Protsenko, I.T. Tymchuk I. et al. // *Functional materials*. 2017. Vol. 24, № 1. P. 143–153 (включено до міжнародної науково-метричної бази даних *Scopus*).

2. Sharma A, Garg S. Automated Optical Inspection Systems for Defect Detection on Printed Circuit Boards / A. Sharma, S. Garg // *The international journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2016. Pp. 32–37.

3. Khan M, Khan K, Anwar N. Automated Visual Inspection for Quality Control of Printed Circuit Boards / M. Khan, K. Khan, N. Anwar // *Annual technical Symposium*. 2022. Pp. 9–19.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ БІОМАТЕРІАЛУ В КОНТЕКСТІ БІОГАЗОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Павлов С. Г., Лисенко В. П., Лендел Т. І.
НУБіП України, sergpavlov89@gmail.com

Зростаюча роль комп'ютерного зору стає все більш значущою в сучасному виробництві, у тому числі й для автоматизації технологічних процесів і виробництв аграрного сектору економіки України. Пропонується використати комп'ютерний зір для ідентифікації об'єктів автоматизації, оцінки їхньої якості за результатами аналізу відповідних зображень та відео, що пояснюється потребою і можливістю розробки швидких кількісних, та відтворюваних методів оцінки, наприклад, якості ферментованої біомаси, що є критичним для оптимізації виробництва біогазу.

Нами була розроблена модель, що забезпечує експрес кількісну повторювану оцінку якості біоматеріалу на основі використання результатів обробки й сегментації зображень.

У даному дослідженні застосовано комплексний підхід до сегментації зображень ферментованого біоматеріалу з використанням диверсифікованого спектру методів: порогової сегментації, адаптивної порогової сегментації, методу Оцу в різних модифікаціях (включаючи оригінальний, інвертований та з підвищеним контрастом), кластеризації К-середніх, а також сегментації на основі глибинного навчання (згорткові нейронні мережі *CNN*, архітектура *U-Net*) [1], [6].

Зображення досліджуваних зразків попередньо трансформувалися у градації сірого для редукції обчислювальної складності та стандартизації процесу аналізу [3].

Експериментальний набір даних було сформовано в умовах полігону дослідження з дотриманням контрольованих параметрів фотофіксації. Для мінімізації впливу варіацій освітленості, збір зображень здійснювався в ідентичний часовий період. Попередня обробка включала конвертацію у монохромний формат, що забезпечило уніфікацію вхідних даних [2].

Для компаративного аналізу ефективності методів сегментації був застосований математичний апарат кількісної оцінки сегментованих областей відповідно до формули

$$P = \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W \delta(p(i, j) = 255) , \quad (1),$$

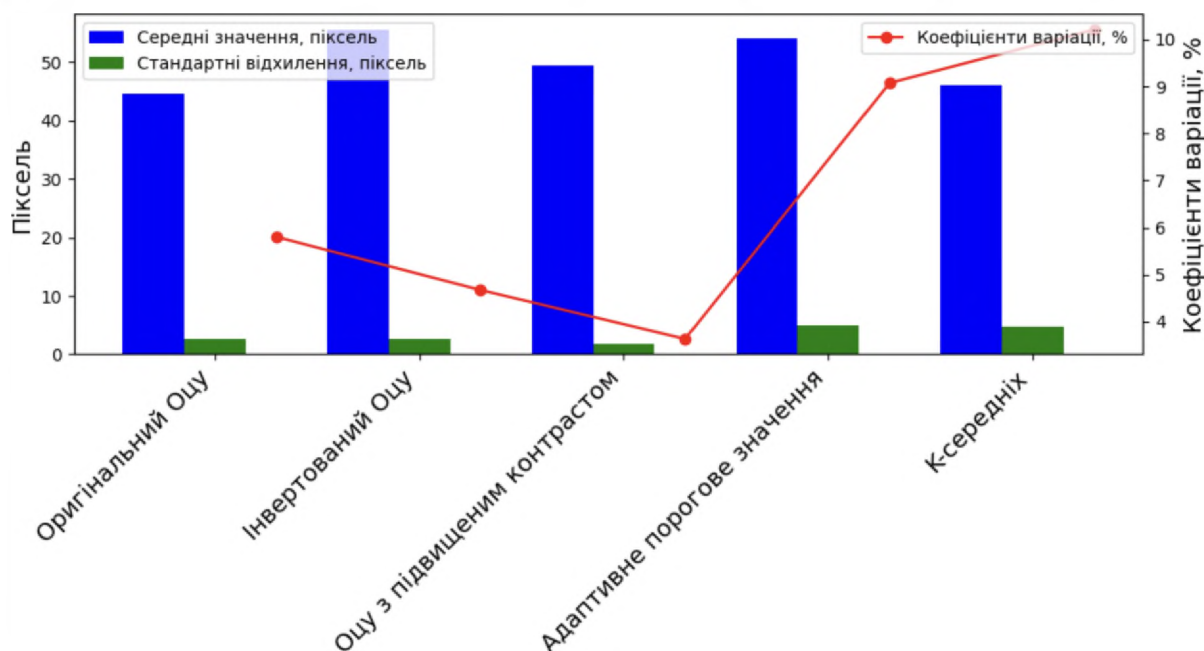
де H – висота зображення; W – ширина зображення; $\delta(p(i, j)=255)\delta(p(i, j)=255)$ – функція, яка дорівнює 1, якщо піксель $p(i, j)$ дорівнює 255, і нуль в іншому разі. Результати наведено в таблиці, а також візуалізовано на рисунку.

Статистична верифікація отриманих результатів показала, що метод Оцу з підвищеним контрастом демонструє оптимальні характеристики стабільності з

найнижчими показниками стандартного відхилення (1,79) та коефіцієнта варіації (3,63 %) [5]. Стабільність сегментації є критичним фактором при аналізові гетерогенних біологічних матеріалів, оскільки забезпечує інваріантність результатів відносно варіацій у наборі вхідних даних [4].

Розрахунок кількості білих пікселів розрахованих кожним методом сегментації

	Назва файлу	Оригінальний Оцу	Інвертований Оцу	Оцу з підвищеним контрастом	Адаптивне порогове значення	K-середніх
1	20240423_110459.jpg	43.244848	56.755152	49.663495	52.335450	42.54715
2	20240423_110510.jpg	47.379036	52.620964	50.024791	55.108044	51.76750
3	20240423_110434.jpg	37.884425	62.115575	40.697546	77.281527	37.88442
4	20240423_110505.jpg	41.714498	58.285502	49.661023	52.597966	41.00187
...						
2	20240423_111922(0).j	47.174500	52.825500	49.993001	51.446748	47.17450



Графік порівняння методів сегментації

Подальший аналіз якісних характеристик сегментованих об'єктів проводився з використанням мульти-параметричної моделі оцінювання, що включала такі дескриптори: середнє значення пікселів, стандартне відхилення, коефіцієнти асиметрії та ексцесу, а також специфікацію гістограми інтенсивності пікселів [7].

Зазначений етап є вирішальним для формування обґрунтованих висновків щодо подальшого технологічного застосування досліджуваного біоматеріалу у виробничому процесі.

Інтегральна оцінка якості кожного зразка розраховувалась із застосуванням метрики евклідової відстані від референтних значень для визначення ступеня відхилення характеристик зображення від оптимальних діапазонів. Такий підхід дозволяє здійснювати об'єктивне ранжування зразків та приймати обґрунтовані рішення щодо їх придатності для ферментаційних процесів.

Розроблена модель комп'ютерного зору створює умови для успішного оцінювання якості біоматеріалу за результатами обробки зображень та методів багатовимірної аналізу. Метод Отсу з підвищеним контрастом забезпечує оптимальні результати сегментації для зображень біоматеріалу. Модель демонструє високу кореляцію з встановленими метриками якості, підтверджуючи свою точність. Статистична валідація на основі кластеризації, *PCA* та кореляційного аналізу підтверджує надійність підходу.

Подальший розвиток передбачає:

- інтеграцію моделі з даними виробничого середовища для покращення прогностичних можливостей щодо виробництва обсягів і якості біогазу на основі використання згорткових нейронних мереж;
- розширення різноманітності набору даних для підвищення надійності моделі;
- упровадження у виробничих середовищах з валідацією відносно виходу газу;
- розробку можливостей моніторингу й управління виробництвом в реальному часі.

1. Клювак А., et al. "Двоетапне сегментування зображення із складним фоном на основі методу Отсу". Вісник Національного університету Львівська політехніка. Комп'ютерні науки та інформаційні технології 843 (2016): 335–341.

2. Bradley D. & Roth G. (2007). Adaptive Thresholding using the Integral Image. Journal of Graphics Tools, 12(2), 13–21. <https://doi.org/10.1080/2151237X.2007.10129236>

3. Reza Ali M. "Realization of the contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE) for real-time image enhancement". Journal of VLSI signal processing systems for signal, image and video technology 38 (2004): 35–44.

4. DasGupta, Anirban. Asymptotic theory of statistics and probability. Vol. 180. New York: Springer, 2008.

5. Altman D G, Bland J M. Standard deviations and standard errors BMJ 2005; 331 :903 doi:10.1136/bmj.331.7521.903.

6. Wang Z., Wang E. & Zhu Y. Image segmentation evaluation: a survey of methods. Artif Intell Rev 53, 5637–5674 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10462-020-09830-9>.

7. Pajankar, Ashwin. Python 3 Image Processing: Learn Image Processing with Python 3, NumPy, Matplotlib, and Scikit-image. BPB Publications, 2019.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ТЕМПЕРАТУРИ В КОНВЕКТИВНІЙ СУШАРЦІ

Мельник В. С., Смітюх Я. В.

Національний університет харчових технологій, melnikvs@ukr.net

Сушіння в конвективних сушарках є одним із найчастіше використовуваних способів підготовки харчових продуктів до зберігання. Основною метою процесу сушіння є видалення вологи, проте через складність прямого вимірювання вологовмісту основним контрольованим параметром на практиці є температура в сушильній камері. Вимірювання, контроль, керування температурою в камері конвективної сушарки визначає швидкість випаровування вологи, енергетичну ефективність та кінцеву якість продукту.

Створення і дослідження нових, зокрема інтелектуальних, систем автоматизації потребує розробки моделей процесу сушіння. Хоча конвективне сушіння використовується досить давно, емпіричні дослідження динаміки температури в сушарці є актуальними, оскільки створення універсальної і повної математичної моделі, яка б охоплювала всі особливості реального об'єкта, є надзвичайно складним завданням через наявність одночасних складних нелінійних тепло- і масообмінних процесів, нестабільність і невизначеність деяких граничних умов, гетерогенність і зміну властивостей сировини в процесі сушіння та інші особливості реальних сушарок [1].

Метою дослідження динаміки температури в сушарці є отримання експериментальних даних для побудови і наступної валідації моделі конвективної сушарки як об'єкта керування. Саме тому акцент був спрямований на дослідження перехідних процесів по каналу керування «потужність нагрівача повітря – температура в камері сушіння».

Дослідження проводились в конвективній сушарці [2], де потужність нагрівача повітря може задаватись в діапазоні 0...100 %, температура в камері сушарки та інші параметри, зокрема вага завантаженої сировини, автоматично реєструвались в базі даних. Для сушіння використовувалися тонко нарізані на слайсері шматки сировини (яблука), що викладалися на сітки. Завантаження сушарки здійснювалось приблизно однаковою вагою та з максимальною однаковою розкладкою. Потужність нагрівача як збільшувалась, так і зменшувалась з метою дослідження реакції на двонапрямлені впливи. Експерименти здійснювалися у межах всього діапазону робочих температур сушарки та в межах повного діапазону зміни вологовмісту завантаженої сировини.

Динаміка зміни температури в камері завантаженої вологою сировиною сушарки при ступінчастій зміні заданої потужності нагрівача з 0 % до 50 % і виключенні нагрівача через деякий час показана на рис.1. Такі ж дослідження проведені при потужностях нагрівача від 30 % до 70 %.

На рис. 2 показана динаміка температури при ступінчастому збільшенні потужності нагрівача на 20 %. Такі ж дослідження проведені при різних вологовмістах сировини.

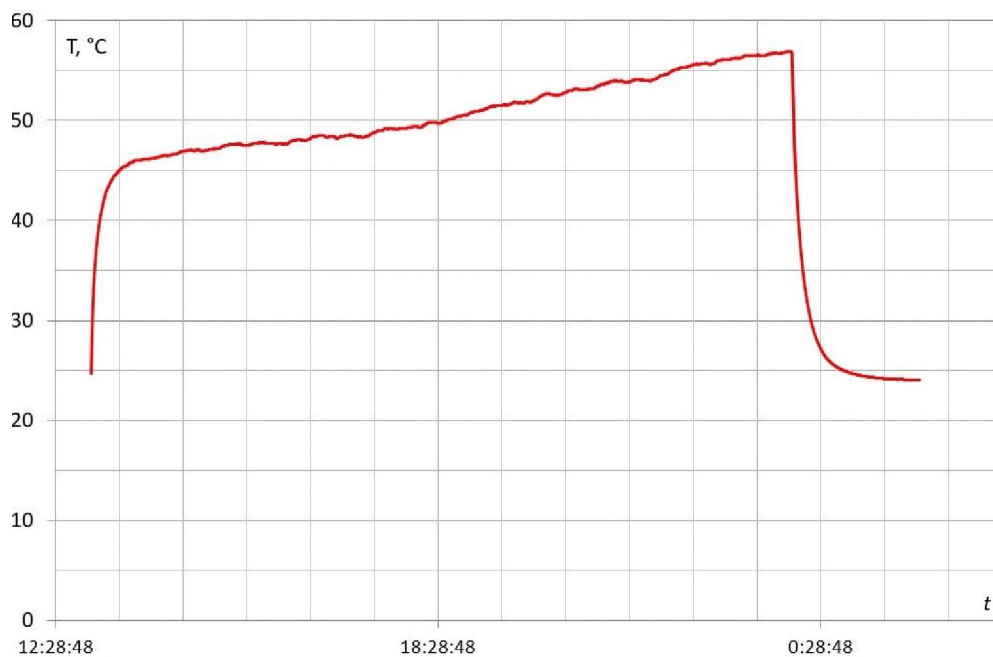


Рис. 1. Динаміка зміни температури при потужності нагрівача 50 %

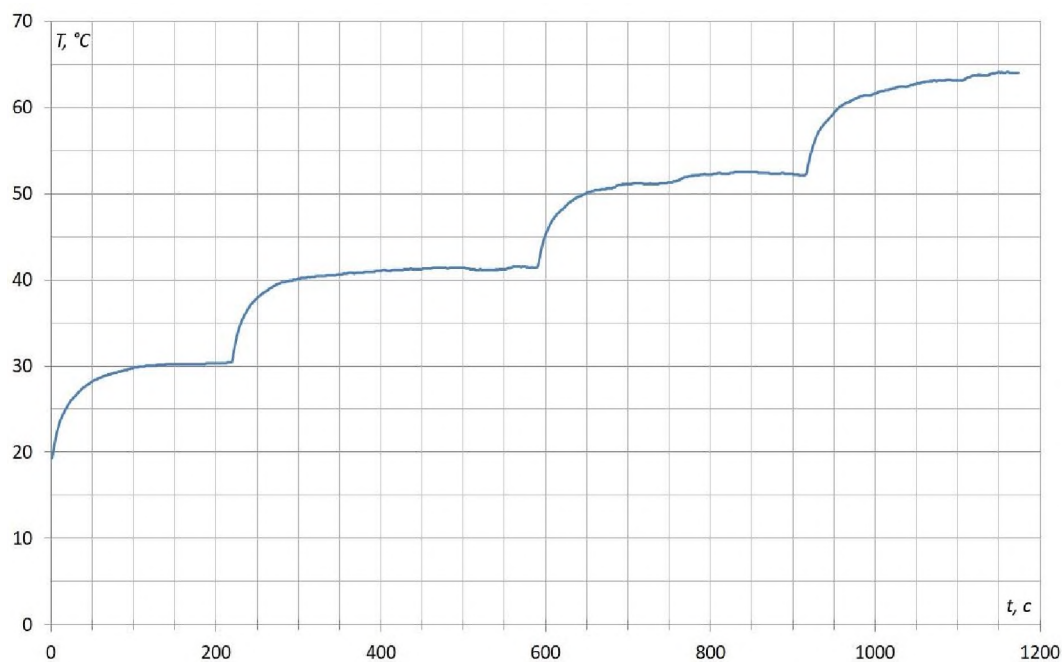


Рис. 2. Динаміка температури при ступінчастих збільшеннях потужності нагрівача на 20 %

Результати експериментальних досліджень будуть використані для побудови і подальшої валідації імітаційних та нейродинамічних моделей конвективних сушарок, які, своєю чергою, будуть використовуватися при розробці і дослідженнях систем їх автоматизації.

1. Ликов А. В. Теория сушки. М. : Энергия, 1968. 471 с.
2. Мельник В. С., Смітюх Я. В. Експериментальна установка для дослідження систем автоматичного керування сушінням харчових продуктів. // Матеріали XI Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 27.11.2024. К: НУХТ, 2024 р. С. 240. [Електронний ресурс: <https://acs.nuft.edu.ua/science/conf>].

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ГАСУ

Гуменюк К. О, Складанний Д. М.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, kostyahumeniuk.tpzala12@gmail.com

Гас, як один із цінних нафтопродуктів, широко використовується в авіаційній, хімічній, енергетичній галузях, а також як паливо для побутових потреб. Високі вимоги до якості гасу обумовлюють необхідність ефективного контролю процесу його очищення, що своєю чергою, потребує впровадження сучасних систем автоматизації [1].

Після первинної переробки нафти шляхом атмосферної та вакуумної дистиляції гасова фракція, що є сумішшю вуглеводнів з довжиною ланцюга переважно від C_{12} до C_{15} , містить значну кількість небажаних домішок, тому очищення гасу є невід'ємною частиною нафтопереробки та включає ряд послідовних етапів, спрямованих на видалення цих небажаних компонентів.

Першим етапом очищення зазвичай є механічне очищення, що включає відстоювання та фільтрацію. Відстоювання використовується для видалення грубих механічних домішок та часткового відділення води за рахунок різниці в густині. Фільтрація, яка здійснюється за допомогою різноманітних фільтрів, дозволяє видалити дрібніші тверді частинки, пил та інші забруднення, що залишилися після відстоювання. Наступним, більш глибоким етапом очищення є гідроочищення (гідродесульфуризація, гідроденітрогенізація та гідродеолефінізація) [1].

Для моделювання процесу очищення гасу застосовується широкий спектр математичних та обчислювальних моделей, складність яких залежить від мети моделювання та глибини розуміння процесу. Термодинамічні моделі описують фазову поведінку вуглеводневих сумішей, що складають гас, а також розчинність газів (водень, сірководень, аміак) у рідкій фазі. Вони є основою для розрахунку рівноважних складів фаз. Для інженерних розрахунків часто використовуються спрощені кінетичні моделі, що описують загальне перетворення певних класів сполук, наприклад, загальне видалення сірки. Для процесів, де присутні газоподібна та рідка фази, використовуються моделі, що описують міжфазний масо- та теплоперенос. Такі моделі застосовуються для моделювання реакторів з каталітичною насадкою, де передбачається, що потік реагентів рухається без осьового перемішування. Зупинимося саме на такій моделі [2].

У роботі досліджувалася технологія безперервного очищення гасу передбачає обробку газової суміші, що містить: механічні домішки до 0,5 %, вологу до 2 %, сірчисті сполуки до 0,2 %. Газова сировина надходить у систему за тиску 0,4...0,6 МПа та температури 25...35 °С. На першому етапі сировина подається у сепаратор, де відбувається видалення механічних і крапельно-рідинних домішок. Потім газ під тиском подається у вертикальну колону, де за температури 80...120 °С та підвищеного тиску 0,5...0,7 МПа відбувається глибоке очищення від води та сірчистих сполук. Розв'язання моделі реалізовано програмно мовою *PYTHON*, лістинг якої наведено нижче.

```

# Ініціалізація параметрів
Q_gas, L_sep, T_sep = 600, 25, 35
P_in, T_col = 0.5, 100
C_moisture, C_sulfur = 2.0, 0.2

for t in range(200):
    print(f'\nЦикл {t+1}:')

    # Контури регулювання
    L_sep += 2 if L_sep < 20 else -2 if L_sep > 30 else 0
    Q_gas += 50 if Q_gas < 500 else -50 if Q_gas > 800 else 0
    T_sep += 5 if T_sep < 30 else -5 if T_sep > 50 else 0
    P_in += 0.05 if P_in < 0.4 else -0.05 if P_in > 0.6 else 0
    T_col += 10 if T_col < 80 else -10 if T_col > 120 else 0

    # Очищення домішок
    k = 0.1 * T_col / 100
    C_moisture *= 2.71828 ** (-k)
    C_sulfur *= 2.71828 ** (-k)
    T_out = T_col * 0.4 + 10
    if T_out > 50:
        print(f'Тривога! Температура очищеного газу: {T_out:.1f}°C')

    # Вивід результатів
    print(f'Газ: {Q_gas} м³/год | Рідина: {L_sep}% | Тсеп: {T_sep}°C')
    print(f'Тиск: {P_in} МПа | Тколона: {T_col}°C | Волога: {C_moisture:.3f}%
    | S: {C_sulfur:.3f}%")

```

Розрахунок, проведений за цією програмою, показує, що повне очищення гасу теоретично можна очікувати через 83 цикли процесу очищення. Проте на практиці такі результати є недосяжними, тому прийmemo за прийнятний рівень очищення зменшення початкових концентрації вологи та сірковмісних сполук у 10 разів. У такий спосіб можна визначити потрібну кількість циклів процесу очищення – 24.

Таким чином, у роботі змодельований процес очищення гасу після його отримання з нафти. Встановлено, що для досягнення прийнятної чистоти продукту слід провести 24 цикли очищення.

1. Handbook of petroleum refining processes / Robert A. Meyers, editor in chief.—3rd ed. McGraw-Hill, 2004. 663 p. ISBN 0-07-139109-6.

2. Petroleum Refining. Technology and Economics / James H. Gary, James H. Handwerk, Mark J. Kaiser, David Geddes. 5th ed. Imprint CRC Press, 2007. 488 p. / DOI 10.4324/9780203907924.

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ГІБРИДНОГО ПІДХОДУ

Фоменко В. О., Шовкопляс О. А.

Сумський державний університет, playfog3@gmail.com, o.shovkoplyas@mss.sumdu.edu.ua

Розпізнавання облич є одним із найважливіших напрямів сучасних досліджень у галузі штучного інтелекту, де широко застосовуються нейронні мережі. Метод *FaceNet*, запропонований компанією *Google*, використовує глибокі згорткові нейромережі для створення embedding-векторів, що відображають унікальні характеристики обличчя людини. Проте, попри високу точність у стандартних умовах, його ефективність істотно знижується в умовах змін освітлення, наявності шумів і недостатньої якості зображень. Тому метою цієї роботи є розроблення та апробація методів, спрямованих на підвищення точності та стійкості *FaceNet* до вказаних обмежень [1].

Оригінальний метод *FaceNet* базується на використанні глибоких нейронних мереж із функцією втрат типу *Triplet Loss* та подальшою *L2*-нормалізацією векторів ознак. У ході аналізу було виявлено такі обмеження:

- висока чутливість до змін інтенсивності та спектрального складу освітлення;
- низька стійкість до артефактів стиснення та шумів на зображеннях;
- недостатня здатність до генералізації ознак при невеликій вибірці зображень.

Для усунення зазначених недоліків запропоновано комплексний підхід, що включає три основні напрями вдосконалення.

1. Попередня обробка зображень. Використання багаторівневої ретинекс-нормалізації (*Multi-Scale Retinex*), що дозволяє зменшити вплив змін освітлення. Впровадження методів шумозниження (наприклад, гаусівська фільтрація або медіанний фільтр) [2].

2. Удосконалення архітектури нейромережі. Інтеграція механізмів уваги (*attention modules*), які дозволяють мережі фокусуватися на найбільш значущих рисах обличчя, ігноруючи фоновий шум. Використання адаптивного вибору важких прикладів (*Hard Triplet Mining*), що підвищує точність і швидкість навчання мережі.

3. Пост-обробка embedding-векторів. Застосування методу *PCA*-відбілювання (*Whitening*), який дозволяє зменшити кореляцію між ознаками, тим самим підвищуючи дискримінативну здатність *embedding*-векторів. Повторна *L2*-нормалізація після *PCA* для забезпечення стабільності результатів розпізнавання [3].

Результати дослідження показують, що запропоновані удосконалення дозволили значно підвищити точність розпізнавання облич за допомогою *FaceNet*. Подальші дослідження будуть спрямовані на поглиблене вивчення механізмів уваги та їхньої інтеграції у нейромережеві архітектури з метою подальшого покращення стійкості та точності розпізнавання.

1. F. Schroff, D. Kalenichenko, J. Philbin. FaceNet: A unified embedding for face recognition and clustering // Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2015. P. 815–823.

2. Cao, Q. Ding, R. Pascanu. Improving FaceNet with quality-aware triplet sampling // IEEE Transactions on Image Processing. 2020. Vol. 29. P. 3144–3156.

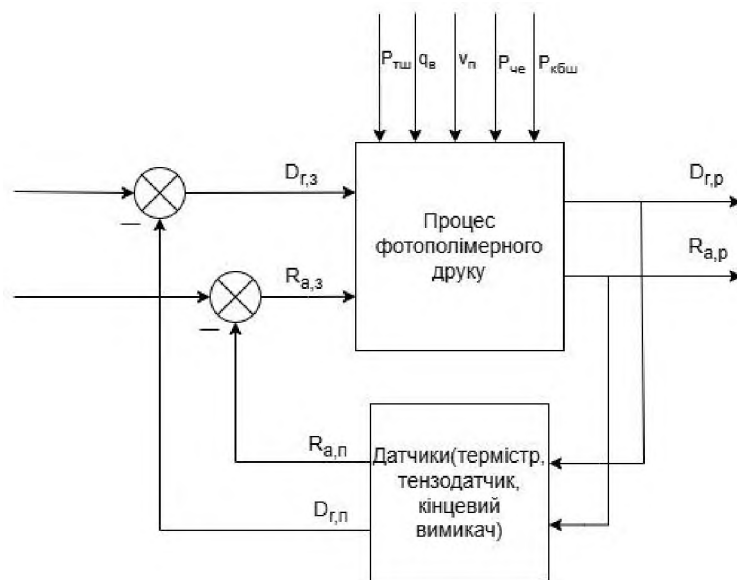
3. D. Jobson, Z. Tapson, G. Steer. Properties and performance of a center/surround retinex // IEEE Transactions on Image Processing. 1997. Vol. 6, № 3. P. 451–462.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ФОТОПОЛІМЕРНИМ 3D-ДРУКОМ

Невлюдов І. Ш., Стрілець Р. Е., Нікітін Д. О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, dmytro.nikitin@nure.ua

Фотополімерний друк – це технологія 3D-друку, яка використовує світлочутливі смоли (фотополімери), що тверднуть під дією ультрафіолетового або іншого джерела світла. Цей метод дозволяє створювати дуже точні, деталізовані об'єкти з гладкою поверхнею. Керування процесом фотополімерного 3D-друку передбачає забезпечення показників якості (шорсткості) та відповідність розмірів надрукованих деталей [1, 2]. Загальну схему автоматизованого керування процесом фотополімерного друку зображено на рисунку.



Загальна схема керування процесом фотополімерного друку

Схема керування передбачає відношення заданих показників якості (шорсткості R_a , збереження заданих розмірів D_r) до вихідних з подальшим їх корегуванням за допомогою датчиків зворотного зв'язку (термістор, тензорезистор, кінцевий вимикач) [3, 4]. На систему керування впливають технологічні параметри, які задаються у слайсері. Такими параметрами є кількість базових шарів, товщина шару, час експонування, швидкість та ін. Математично структура моделі має такий вигляд:

$$D_{r,p}, R_{a,p} = F(D_{r,z}, R_{a,z}, P_{тш}, q_{в}, v_{п}, P_{че}, P_{кбш}).$$

де $D_{r,p}$ – отримані розміри деталі; $R_{a,p}$ – отримана шорсткість деталі; $D_{r,z}$ – задані розміри деталі; $R_{a,z}$ – задана шорсткість деталі; $P_{тш}$ – параметри товщини шару; $q_{в}$ – інтенсивність експонування УФ-світлодіода; $v_{п}$ – параметри швидкості переміщення платформи; $P_{че}$ – параметри часу експонування; $P_{кбш}$ – параметри кількості базових шарів.

Виходячи із загальної структури САК ТП фотополімерного друку можливо визначити основні складові АСК ТП фотополімерного друку. До складу АСК ТП входять такі забезпечення [3]:

– *функціональне забезпечення*, яке відповідає за формування УФ-випромінювання, формування зображення на екрані(маски), перемішування та визначення розташування платформи по осі вертикальній осі;

– *інформаційне забезпечення*, відповідає за технологічні параметри, що задаються в слайсері перед друком і впливають на технологічний процес, такими параметрами є час експонування, швидкість переміщення, товщина шару, кількість базових шарів тощо;

– *математичне забезпечення* відповідає за математичні моделі процесу друку, такими моделями є регресійна модель, що була отримана у другому розділі, модель керування за силою відриву та модель САК процесу відрива за температурою;

– *алгоритмічне забезпечення* включає алгоритм перемішування, алгоритм визначення сили відриву від площі в процесі друку, алгоритм експонування шару, алгоритм визначення початкового положення платформи;

– *технічне забезпечення* містить модуль експонування, що включає в себе світлодіодну матрицю, модуль відображення, що включає в себе екран(маску), модуль переміщення, що включає в себе двигун, драйвер, модуль контролю за силою відрива, що включає в себе тензодатчик та модуль контролю за температурою, що включає в себе термістор і плату керування.

Основними елементами, що визначають збереження якісних показників та необхідні для покращення системи керування є елементи, що відповідають за контроль сили відриву та контроль температури фотополімера, яка впливає на швидкість полімеризації і тим самим на силу відриву від плівки.

На основі проведеного регресійного аналізу для покращення показників якості керування в САК фотополімерним друком пропонується в якості математичного забезпечення модель керування за силою відрива від площі та САК модель процесу відрива за температурою.

В алгоритмічному забезпеченні пропонується алгоритм визначення сили відриву від площі на основі алгоритму перемішування.

1. Igor Nevlyudov, Dmytro Nikitin, Danylo Blyzniuk, Roman Strelets. Features of Photopolymer 3D Printing Technology. Journal of Natural Sciences and Technologies, 3(2), 318–322. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14542531>.

2. Нікітін Д.О. Розробка моделі керуванням температури фотополімерної смоли на базі LCD-технології 3D-друку // Системи управління, навігації та зв'язку, Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка" – Полтава 2024: Збірник наукових праць, випуск 1 (75). 31 – 37 с. ISSN 2073-7394. URL: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2024.1.031>.

3. Невлюдов І.ІІІ. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.ІІІ. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. Кривий Ріг. Криворізький коледж НАУ, 2019 р. 366 с.

4. Теорія автоматичного управління. Нелінійні та дискретні системи: Навчальний посібник [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»; уклад.: О. Й. Штіфзон, П. В. Новіков. Електронні текстові дані . Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 98 с.

ЗАСТОСУВАННЯ МОДУЛЯ УВАГИ У ПОЛЕГШЕНІЙ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ХВОРОБ РОСЛИН У СПОРУДАХ ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ

Савченко І. В., Болбот І. М.

НУБІП України, i.savchenko@nubip.edu.ua

Виявлення хвороб рослин у спорудах закритого ґрунту є критично важливим для запобігання втратам урожаю. Традиційні методи, що базуються на візуальному огляді, є трудомісткими, повільними та схильними до суб'єктивних помилок. Згорткові нейронні мережі (*CNN*) пропонують автоматизоване рішення, однак стандартні архітектури часто не здатні ефективно виділяти релевантні ознаки зображень через недостатнє врахування просторових та каналних залежностей у картах ознак. Це знижує точність класифікації, особливо при обробці складних зображень рослин із неоднорідним фоном або дрібними симптомами хвороб.

Для подолання цих обмежень застосовується модуль уваги *Convolutional Block Attention Module (CBAM)*, який є легким і універсальним механізмом для покращення продуктивності *CNN* [2]. *CBAM* складається з двох послідовних підмодулів: модуля уваги по каналах та модуля уваги по простору. Модуль уваги по каналах обчислює вагові коефіцієнти для кожного каналу карти ознак, використовуючи глобальне середнє та максимальне пулінги, після чого застосовується багатошаровий перцептрон (*MLP*) для генерації карти уваги:

$$M_c = \sigma(MLP(AvgPool(F)) + MLP(MaxPool(F))),$$

де F – вхідна карта ознак, *AvgPool* та *MaxPool* – операції глобального пулінгу, *MLP* – багатошаровий перцептрон, σ — сигмоїдна функція активації.

Модуль уваги по простору генерує карту уваги, що виділяє значущі просторові позиції, шляхом конкатенації пулінгів по каналах та застосування згортки:

$$M_s = \sigma(f^{7 \times 7}([AvgPool(F); MaxPool(F)]))$$

де $f^{7 \times 7}$ – згорткова операція з ядром 7×7 . Остаточна уточнена карта ознак обчислюється як:

$$\begin{aligned} F'' &= M_s(F'), \\ F' &= M_c(F) \times F. \end{aligned}$$

Такий підхід дозволяє моделі фокусуватися на релевантних ознаках, пов'язаних із симптомами хвороб, придушуючи шум від фону чи неінформативних ділянок.

CBAM інтегрується в архітектуру *MobileNetV2*, яка є ефективною *CNN*, оптимізованою для пристроїв з обмеженими обчислювальними ресурсами. Модуль вставляється після кожного блоку інвертованих залишкових зв'язків *MobileNetV2*, що дозволяє адаптивно вдосконалювати карти ознак без значного збільшення обчислювальної складності. Для оцінки впливу *CBAM* розглядається метрика точності класифікації *Accuracy*:

$$Accuracy = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN),$$

де TP , TN , FP , FN – кількість істинно позитивних, істинно негативних, хибно позитивних та хибно негативних передбачень відповідно. Очікується, що додавання *CBAM* підвищить *Accuracy* порівняно з базовою моделлю *MobileNetV2* завдяки кращій локалізації симптомів хвороб.

Попередні дослідження показують, що *CBAM* може покращувати продуктивність легких моделей у задачах класифікації зображень. Наприклад, у задачах діагностики хвороб листя *CBAM* у поєднанні з *EfficientNetB0* підвищив точність з 85,82 % до 86,89 % на наборі даних із зображень листя груші [1]. У цьому дослідженні також застосовується самонавчання *SimCLR* (*Simple Framework for Contrastive Learning of Visual Representations*) для попереднього навчання моделі на немаркованих даних, що зменшує залежність від великих маркованих наборів, та аугментація зображень (обертання, масштабування, зміна яскравості) для підвищення стійкості моделі до варіацій даних.

Результати порівняння продуктивності моделей із *CBAM* та без нього наведено в таблиці.

Порівняння продуктивності моделей для виявлення хвороб рослин

Модель	Точність (%)	Прецизійність (%)	Повнота (%)	<i>F1</i> -міра (%)
<i>MobileNetV2</i>	85,0	84,5	83,8	84,1
<i>MobileNetV2 + CBAM</i>	88,5	88,0	87,5	87,7

Застосування *CBAM* у легких моделях, таких як *MobileNetV2*, сприяє створенню ефективних систем для автоматизованого моніторингу рослин у спорудах закритого ґрунту. Інтеграція механізмів уваги підвищує точність і стійкість моделей, що є важливим для інтелектуальних роботизованих комплексів, призначених для реального часу діагностики та управління здоров'ям рослин.

1. Alirezazadeh P., Schirrmann M. & Stolzenburg F. Improving Deep Learning-based Plant Disease Classification with Attention Mechanism. *Gesunde Pflanzen* 75, 49–59 (2023). URL: <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00796-y>.

2. Woo S., Park J., Lee J. Y., Kweon I. S. (2018). CBAM: Convolutional Block Attention Module. In: Ferrari, V., Hebert, M., Sminchisescu, C., Weiss, Y. (eds) *Computer Vision – ECCV 2018*. ECCV 2018. Lecture Notes in Computer Science(), vol 11211. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-01234-2_1.

ОЦІНКА ДОСТОВІРНОСТІ ТА ІНТЕРПРЕТОВАНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ КЛАСИФІКАЦІЇ В СИСТЕМАХ ДІАГНОСТИКИ РАКУ

Папченко О. І., Кузіков Б. О.

Сумський державний університет, papchenko.oleksandr@student.sumdu.edu.ua

Системи штучного інтелекту демонструють високу точність у класифікації медичних зображень, включаючи гістопатологію раку молочної залози. Однак для впровадження в клінічну практику самої точності недостатньо. Лікарі мають бути впевнені в надійності кожного діагнозу. Більшість моделей глибокого навчання функціонують як «чорні скриньки», не надаючи інформації про впевненість у результаті, створюючи бар'єр для довіри в медицині.

Інформаційно-екстремальна інтелектуальна технологія (ІЕІТ), окрім побудови класифікаційних правил, потенційно надає внутрішні механізми для оцінки надійності результату. Вона оперує поняттями гіперсферичних контейнерів класів у бінарному просторі ознак та функціями належності, які можуть бути інтерпретовані як міра близькості об'єкта до еталона класу. Крім того, підходи до оцінки невизначеності, розроблені для глибокого навчання (напр., на основі ансамблів), можуть бути інтегровані на етапі виділення ознак. Метою даного дослідження є розробка та верифікація методів оцінки достовірності класифікаційних рішень в інтелектуальній системі діагностики раку молочної залози на базі ІЕІТ. Новизна полягає в адаптації та використанні внутрішніх параметрів ІЕІТ, а також можливій інтеграції з ансамблевими методами, для отримання кількісної оцінки надійності кожного прогнозу, що підвищує прозорість та інтерпретованість системи для кінцевого користувача – лікаря.

Розглянемо систему класифікації на основі ІЕІТ, де на вхід подається вектор ознак x_j (отриманий, наприклад, з екстрактора на основі глибоких нейронних мереж), який переводиться у бінарний вектор x'_j за допомогою оптимальних контрольних допусків δ^* . Система має навчені еталонні бінарні вектори y^m та оптимальні радіуси гіперсферичних контейнерів d_m^* для кожного класу $m \in \{1, \dots, M\}$. Класифікація здійснюється на основі функції належності

$$\mu_m(x'_j) = 1 - d_m^* / d_H(y_m, x'_j),$$

де d_H – відстань Хеммінга.

Рішення приймається на користь класу $k^* = \arg \max_m \mu_m(x'_j)$, якщо $\mu_{k^*}(x'_j) > 0$.

Пропонується декілька підходів до оцінки достовірності цього рішення.

1. *Аналіз максимального значення функції належності.* Значення μ_{k^*} саме по собі може слугувати мірою впевненості. Значення, близькі до 1, вказують на високу подібність до еталона класу k^* (висока впевненість), тоді як значення, близькі до 0, вказують, що об'єкт знаходиться на межі контейнера (низька впевненість).

2. *Аналіз різниці функцій належності.* Різниця між найбільшим значенням функції належності μ_{k^*} та другим за величиною значенням $\mu_{k^{**}}$ ($\text{margin} = \mu_{k^*}(x'_j) - \mu_{k^{**}}(x'_j)$) може бути показником однозначності класифікації. Малий

margin вказує на те, що об'єкт схожий на еталони кількох класів, що знижує достовірність рішення.

3. *Відстань до межі контейнера.* Відстань Хеммінга $d_H(y_m, x'_j)$ порівняно з радіусом d_m^* . Якщо $d_H \ll d_m^*$, об'єкт знаходиться глибоко всередині контейнера (висока впевненість). Якщо $d_H \approx d_m^*$, об'єк. на межі (низька впевненість).

4. *Аналіз близькості до зон перетину контейнерів класі.* Хоча ІЕІТ прагне до чіткого розбиття, в реальності контейнери можуть мати зони, де об'єкт міг би бути віднесений до кількох класів при невеликій зміні ознак. Аналіз близькості об'єкта до таких зон (наприклад, до середини відстані між сусідніми еталонами) може вказувати на низьку достовірність.

5. *Інтеграція з невизначеністю екстрактора ознак.* Якщо екстрактор ознак є ансамблем глибоких моделей (напр., *deep ensembles*), можна оцінити варіативність (невизначеність) вихідного вектора ознак x_j . Висока варіативність ознак може транслюватися у низьку достовірність кінцевого ІЕІ-класифікатора, навіть якщо формально об'єкт потрапляє всередину одного з контейнерів.

Ці показники достовірності можуть бути об'єднані в єдину метрику $Conf(x)$ (наприклад, шляхом зваженого усереднення або за допомогою логістичної регресії, навченої передбачати правильність класифікації на валідаційній вибірці) або представлені лікарю окремо. Очікується, що запропонована метрика $Conf(x)$, яка агрегує інформацію про положення вектора відносно еталона, межі контейнера та сусіднього класу, буде добре корелювати з фактичною ймовірністю правильної класифікації. На тестових даних, середнє значення $Conf(x)$ для правильно класифікованих зразків буде значно вищим, ніж для помилкових. Встановлення порогу достовірності дозволить відфільтрувати значну частину помилкових класифікацій ціною відмови від класифікації для невеликої частки зразків. Це дозволить підвищити загальну надійність діагностичної системи при її використанні в клінічній практиці. Порівняння з іншими методами оцінки невизначеності (наприклад, на основі ансамблів або *Bayesian* підходів, адаптованих до ІЕІТ) покаже переваги та недоліки запропонованого геометричного підходу.

Оцінка достовірності класифікаційних рішень є невід'ємною вимогою для інтеграції ІІІ-рішень у клінічну практику. Запропонований метод оцінки достовірності, розроблений спеціально для ІЕІТ, використовує унікальні характеристики її внутрішньої моделі – геометрію гіперсферичних контейнерів та відстані у просторі Хеммінга. Метрика, що враховує положення вектора ознак відносно еталона класу, межі контейнера та сусідніх класів, дозволяє кількісно оцінити надійність кожного конкретного рішення ІЕІТ-класифікатора. Інтеграція цієї метрики в діагностичний процес надає лікарю важливу додаткову інформацію, підвищує довіру до системи та дозволяє ідентифікувати випадки, що потребують особливої уваги. Це сприяє безпечнішому та ефективнішому застосуванню ІЕІТ для автоматизованої діагностики онкопатологій. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення формули метрики достовірності та її адаптацію для багатокласових задач в рамках ІЕІТ.

GRASPING POINTS ESTIMATION FOR ARBITRARY-SHAPED OBJECTS IN AUTOMATED PALLETIZING UNDER LOW LIGHT CONDITIONS

Artem Sazonov, Danylo Zghurskyi, Aleksey Kuchkin
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, zghurskyi.danylo@kpi.ua

Industrial automation has radically altered in-house logistics, and logistic robotics – powered by mobile platforms and articulated manipulators – has become ubiquitous. Palletizing is perhaps the chief beneficiary: robots can reposition items of almost any geometry along freely chosen paths. As with any automated workflow, however, departures from the nominal state, here termed *anomalies*, are inevitable. One frequent deviation occurs at the final palletizing step, when an object is displaced from its target pose. A typical instance is a vial that slips from the gripper and topples onto the pallet [1].

A fallen vial blocks every subsequent motion because vials are stacked sequentially, section by section. The line therefore stops, causing direct production losses. Today this fault is cleared only after an operator intervenes, since most control systems confirm that the robot executed its motion but do not correct an unsatisfactory outcome. To eliminate displacement autonomously, the system must compute a viable grasp point for the errant object and forward it to a corrective routine on the robot.

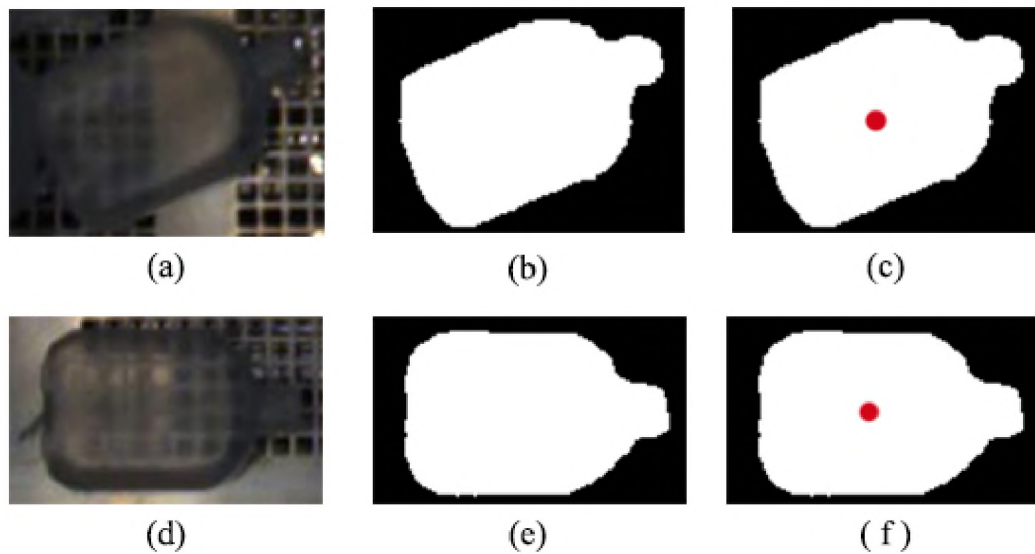
Achieving that goal requires a dedicated machine-vision solution whose logic proceeds as follows. First, capture an image after each palletizing iteration. Second, inspect the frame for anomalies. Third, if a deviation is present, segment the displaced object. Fourth, derive a grasp point from the resulting mask.

Segmentation is the pivotal stage. The instance-segmentation network must isolate objects that may overlap and lie in arbitrary orientations, often in poor light and with challenging materials – for example, a semi-transparent vial. Selecting an appropriate network involves balancing accuracy against real-time throughput. Using a universal, pretrained model instead of training anew for every object class and visual variation markedly simplifies deployment.

The most versatile instance-segmentation framework currently available is the Segment Anything Model (SAM). SAM delivers real-time segmentation across scenes of virtually any complexity without additional fine-tuning; it remains adaptive, scalable, and sufficiently precise for industrial use [2].

In the proposed workflow, an object-detection network first scans each frame for anomalies. The bounding contour of every detected deviation is passed to SAM, which extracts the vial mask and returns a binary image. A grasp-point module then analyses that mask and supplies exact pickup coordinates to the robot, enabling automatic recovery. The same approach can be easily applied to the other industries and type of objects which are usually unknown due to wide variety of items, for example within MASTERLY project (Grant Agreement 101091800) funded by European Commission within Horizon Europe program.

The output produced by this computer-vision pipeline is illustrated below:



Grasping points estimation results: (a) and (d) show the fallen vial; (b) and (e) display the segmented vial body; (c) and (f) present the computed grasp point.

The evaluation relied on a curated set of 600 high-resolution images, each containing between one and five palletizing anomalies. Frames were captured under deliberately varied illumination – from uniform diffuse light to low-intensity scenes with pronounced glare – and spanned a full range of vial formats, from small 150 mL vials to large 500 mL bottles. This diversity compelled the models to cope simultaneously with changes in contrast, shadowing, and object scale. The liquid inside each vial introduced further variability: samples ranged from colorless solutions to light-blue and pale-yellow tints, and every tint was tested both with and without surface foam.

The Segment Anything Model achieved the highest segmentation accuracy in our tests, yielding an Intersection-over-Union of 0.979 and a Dice coefficient of 0.989. These figures confirm its strong capacity to generalise and deliver high-quality masks without task-specific training. Its inference latency, however, averaged 0.195 s per frame – considerably slower than task-tuned architectures such as U-Net++, which reached 0.070 s – highlighting a trade-off between universal adaptability and real-time speed.

An algorithmic software module was developed to locate grasp points on arbitrarily shaped objects under low-light conditions.

1. Zoghlami, F., Kurrek, P., Jocas, M., Masala, G., & Salehi, V. (2019). Usage Identification of Anomaly Detection in an Industrial Context. In *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design* (Vol. 1, Issue 1, pp. 3761–3770). Cambridge University Press (CUP). <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.383>

2. Kirillov, A., Mintun, E., Ravi, N., Mao, H., Rolland, C., Gustafson, L., Xiao, T., Whitehead, S., Berg, A. C., Lo, W.-Y., Dollár, P., & Girshick, R. (2023). Segment Anything (Version 1). arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2304.02643>

AUTOMATION OF QUALITY CONTROL FOR DENTAL IMPLANTS USING MACHINE VISION

Shulhin O. L.

Dnipro University of Technology, shulhin.o.l@nmu.one

Quality control plays a particularly important role in dental implant manufacturing. Products are inspected at various stages of production, allowing for timely identification of deficiencies and ensuring the highest quality of implants. Quality control ensures compliance with key requirements for dental implant products, including surface cleanliness, sterility, atraumaticity, and geometric accuracy of both the implant site and the overall structure [1].

Today, the production of dental implants is characterized by a high degree of automation. Metal processing is typically carried out using high-precision computer numerical control (CNC) machines. Additive manufacturing technologies are also increasingly being applied, enabling the fabrication of implants based on 3D models.

However, quality control in dental implant manufacturing is still predominantly performed manually. Products are inspected by machine operators and quality control personnel at set intervals and after the completion of each production batch. The inspection process includes dimensional control using calipers, micrometers, depth gauges, optical projectors, as well as visual inspection under a microscope [2]. This approach has significant drawbacks: difficulty in timely defect detection, high time consumption, the need to engage more personnel for quality control, and considerable influence of the human factor on inspection results. The complexity of automating the process is primarily due to the wide variety and intricate geometric parameters of the implants.

Defects in dental implants can be conventionally divided into two categories: geometric and visual. Geometric defects include dimensional inaccuracies, misalignment, positioning errors, and internal features that are either undersized or oversized (such as cylindrical, hexagonal, or threaded dimensions). Visual defects include tool marks, scratches, burrs or sharp edges, dents, adhesions, steps, excess material, deviations in surface roughness, and discoloration caused by overheating. An analysis of quality control results has shown that visual defects are the most frequently encountered.

To eliminate the deficiencies of manual quality control and enable effective detection of visual defects, the development of an automated quality control system using machine vision is proposed. Such systems are applied in various industries, but in the case of dental implants, it is essential to take into account the specific characteristics of the products, including small size, complex geometry, and strict precision requirements necessary to ensure both geometric accuracy and atraumaticity.

Machine vision systems used in automation typically consist of a high-resolution camera and a microcontroller or microcomputer for image processing. These components may be integrated into a single unit or function as separate modules. For inspecting small objects, it is advisable to complement the system with a microscope, since a high-resolution camera alone may not provide sufficient accuracy for detecting defects [3].

To automate quality control of dental implants, a system is proposed that includes a microscope with a telecentric lens and a high-resolution camera, along with motors for rotating the implant in front of the lens and adjusting the microscope's focus. Real-time image processing and motor control are handled by a microcomputer. This configuration enables the capture of clear, undistorted images and facilitates rapid defect detection.

The defect detection algorithm can be divided into four main stages: focusing, contour detection, dimensional measurement, and surface analysis. Focusing is achieved by adjusting the distance between the objective and the sample using a motor, with feedback provided by analyzing the image sharpness from the camera. Once the image is sharp enough, the implant boundaries are detected to allow dimensional measurements. These are performed between control points on the contour, predefined for each implant type. Surface analysis is conducted using a machine vision system based on artificial intelligence, trained on real samples of dental implants. To analyze all sides of the implant, it is rotated in front of the lens using a second motor. For the side surfaces, the implant is repositioned from a horizontal to a vertical orientation, and all operations are repeated. In cases where the implant has a complex geometry with critical dimensions located in different planes, focusing and subsequent analysis are performed separately for each plane to ensure maximum inspection accuracy.

The implementation of an automated quality control system for dental implant products based on machine vision will make it possible to significantly increase the efficiency of quality control: to reduce inspection time, minimize the influence of the human factor, detect defects in a timely manner, and eliminate the causes of their occurrence.

1. Chaikovska T.V., Komisar A.V. & Holovchak V.Yu. (2023). Per-Inhvar Branemark i yoho rol v istorii dentalnoi implantatsii [Per-Ingvar Branemark and his role in the history of dental implantation]. *Intermedical journal, Special issue*, 108–111. URL: <https://doi.org/10.32782/2786-7684/2023-3-22> [in Ukrainian].

2. ABM Technology LLC. (n.d.). Quality Control. Retrieved from: <https://abmt.com.ua/en/technological-processes/quality-control/>.

3. Puida V.Ya. (2022). Systema tekhnichnoho zoru dlia doslidzhen v oblasti defektoskopii materialiv ta vyrobiv [Machine vision system for research in the field of defectoscopy of materials and products]. *Computer Systems and Networks*, 4(1), 122–130 [in Ukrainian].

МОДЕЛЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РТК У СФЕРІ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ

Янушкевич Д. А., Іванов Л. С., Прудніков Д. Д., Межанов А. А.

Харківський національний університет радіоелектроніки, dmytro.ianushkevych@nure.ua

Унаслідок російського вторгнення Україна стала однією з найбільш замінованих країн у світі. За оцінками Організації Об'єднаних Націй, було встановлено, що за роки війни, близько 30 % території України забруднено вибухонебезпечними предметами (ВНП). На розмінування територій, забруднених ВНП піде до 100 років. Уряд України ставить за мету, щоб за десять років 80 % цих територій були обстежені на наявність ВНП та були безпечними безпечними для життєдіяльності мирного населення та військових. При цьому необхідно застосовувати креативні підходи до системи гуманітарного розмінування із застосуванням робототехнічних комплексів (РТК). Одним з надважливих аспектів використання робототехнічних комплексів є спосіб здійснення управління. Це підтверджується класифікаційними ознаками РТК [1]:

– за поколіннями:

1) РТК 1-го покоління – пристрої з програмним та дистанційним управлінням, які здатні функціонувати тільки в організованому середовищі;

2) РТК 2-го покоління – адаптивні, що мають синтетичні органи «чуття» і здатні функціонувати в заздалегідь невідомих умовах, та пристосовуватися до зміни ситуацій;

3) РТК 3-го покоління – інтелектуальні, мають систему управління з елементами штучного інтелекту;

– за ступенем залежності від оператора:

1) «людина в системі управління» (*human-in-the-loop*) – до цієї категорії віднесені безпілотні машини, що здатні самостійно виявляти цілі та здійснювати їх селекцію, проте рішення про їх знищення приймає тільки людина-оператор;

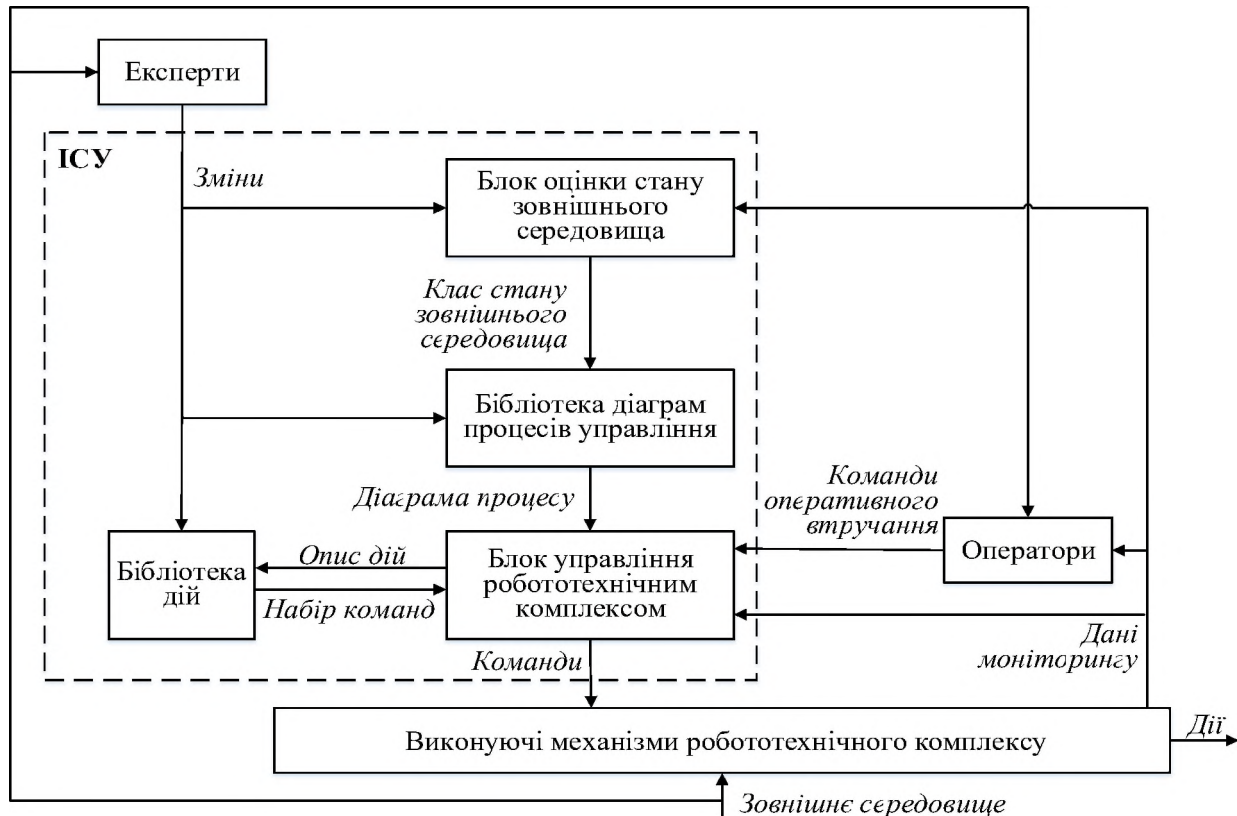
2) «людина над системою управління» (*human-on-the-loop*) – до цієї категорії належать системи, здатні самостійно виявляти та вибирати цілі, а також приймати рішення на їх знищення, але людина-оператор, що виконує роль спостерігача, у будь-який момент може втрутитися та скоригувати чи заблокувати це рішення;

3) «людина поза системою управління» (*human-out-of-the-loop*) – до цієї категорії віднесені роботи, здатні виявляти, вибирати та знищувати цілі самостійно без людського втручання.

В основі наведених класифікацій є відмінні риси у системі управління РТК, тобто рівень її «інтелектуальності», що робить розробку таких систем дуже важливою темою з наукової точки зору. Інтелектуальний РТК – це робот, що включає інтелектуальну систему управління (ІСУ) [2].

ІСУ означає комп'ютерну систему для вирішення завдань, які людина не може вирішити в режимі реального часу, або їхнє рішення вимагає автоматизо-

ваної підтримки, або дає результати, які можна порівняти з рішеннями людини. При цьому, серед іншого, мається на увазі, що для розв'язуваних завдань ІСУ не передбачає повноти знань, а сама ІСУ повинна мати можливість упорядковувати дані та експертизу з виділенням суттєвих параметрів, пристосовуватися до змін набору фактів і знань тощо. Концептуальну модель ІСУ робототехнічними комплексами гуманітарного розмінування на основі вербальних методів наведено на рисунку.



Модель ІСУ РТК гуманітарного розмінування

Модель ІСУ РТК включає такі елементи: блок оцінки стану зовнішнього середовища, бібліотеку діаграм процесів управління, блок керування РТК, бібліотеку дій, рівень виконання для виконавчих механізмів робототехнічного комплексу (ВМРК), набори команд для ВМРК, групу експертів та операторів.

Розроблена модель ІСУ РТК дозволяє сформулювати моделі на рівні прийняття рішень та на виконавчому рівні.

1. Nevliudov, I., Yanushkevych, D., Ivanov, L. Analysis of the state of creation of robotic complexes for humanitarian demining. / I. Nevliudov, D. Yanushkevych, L. Ivanov // Technology Audit and Production Reserves, 6/2 (62). 2021. P. 47–52.

2. Hutsa O., Yanushkevych D., Yelchaninov D., Tolkunov I., Ivanov L., Petrova R., Morozova A. Conceptualization of intelligent control systems conceptual model for humanitarian demining robotic complexes based on verbal methods. Science and Innovation Vol. 20 №. 3 (2024), 82–95.

ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ СИПКОГО МАТЕРІАЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕКРАННОГО РІВНЕМІРА ТА ЕОМ

Сташкевич П. М., Лукінюк М. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, p.stashkevych@kpi.ua

Одним із важливих параметрів у проведенні багатьох технологічних процесів є рівень сипкого матеріалу – його використовують у виробництві цегли, цементу, технічного вуглецю, синтетичних мийних засобів, продуктів харчування, у зберіганні зернових тощо. Існує багато рівнемірів, які дозволяють вимірювати цей технологічний параметр, зокрема – вагові, вібраційні, ємнісні, ультразвукові, роторні, мікрохвильові, радіоізотопні, радарні, щупові та ін. Одним з недоліків наведених вимірювачів є досить висока вартість, що не завжди дозволяє їх використовувати для вимірювання рівня, особливо в баках невеликого розміру. З метою подолання цих недоліків було розроблено екранний рівнемір¹, схему якого наведено на рис. 1.

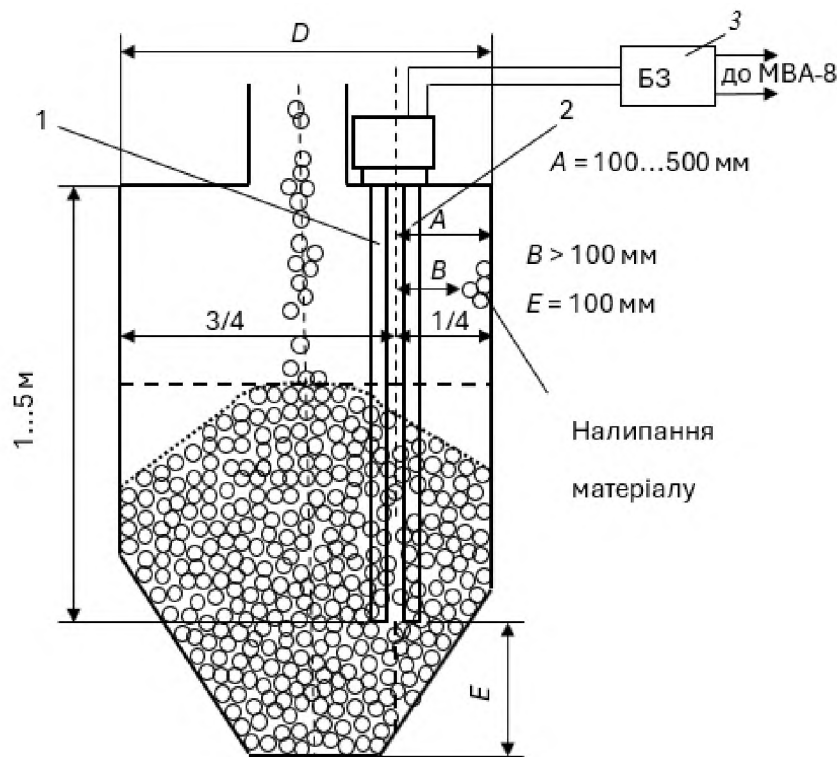


Рис. 1. Схема радарного рівнеміра екранного типу:
1 – випромінювач; 2 – приймач; 3 – блок зв'язку з комп'ютером

¹ Сташкевич П. М., Лукінюк М. В. Використання екранування для виміру рівня сипкого матеріалу об'єктів / *Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення* (випуск 72): матеріали Міжнародної наукової інтернет-конференції, (м. Тернопіль, Україна, м. Переворськ, Польща, 15–16 листопада 2022 р.). ГО “Наукова спільнота”; WSSG w Przeworsku. – Тернопіль : ФОП Шпак В. Б. 223 с. С. 198–199. Доступ: <http://www.konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-742/>, вільний. ISSN 2522-932X. – Gogle Scholar.

Сигнал від мікрохвильового випромінювача 1 випромінюється в довкілля, частина сигналу екранується матеріалом, що його оточує, та сприймається приймачем 2. Величина прийнятого сигналу буде залежати від кількості матеріалу, який знаходиться між випромінювачем та приймачем, тобто, безпосередньо від рівня сипкого матеріалу. Далі цей сигнал перетворюється в стандартний уніфікований сигнал 0...5 (4...20) мА.

Для того, щоб далі можна було здійснювати вимірювання з використанням засобів обчислювальної техніки, рівнемір додатково оснащено перетворювачем сигналів у цифровий сигнал RS-485 інтерфейсу зв'язку МВА-8 «ОВЕН»², що дозволяє передавати його на відстань 1200 м і подавати на вхід комп'ютера через перетворювач інтерфейсу АС3-М «ОВЕН» (рис. 2).

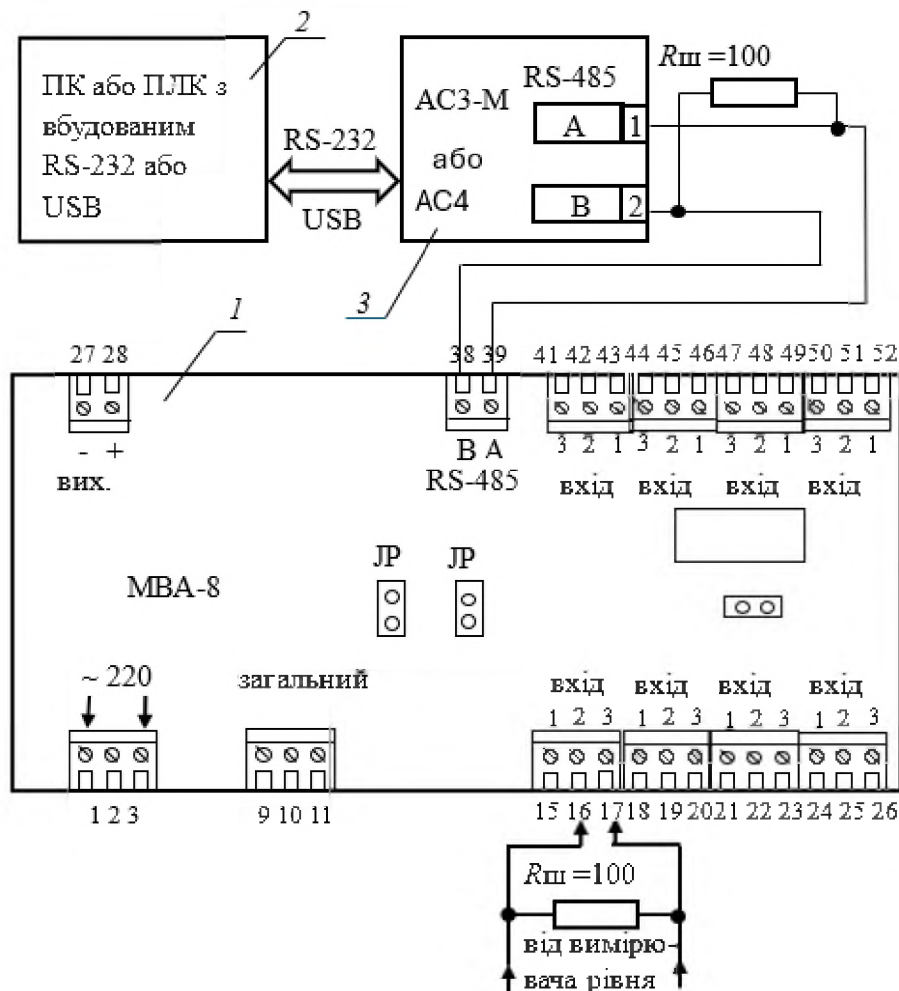


Рис. 2. Схема підключення екранного рівнеміра до ЕОМ (ПК) або логічного контролера:
1 – модуль вводу аналоговий МВА-8; 2 – ЕОМ; 3 – двонаправлений перетворювач інтерфейсу АС3-М або АС4

У програмуванні для забезпечення зв'язку з комп'ютером можуть використовуватись протоколи обміну ОВЕН, *ModBus-RTU*, *ModBus-ASCII*, *DCON*.

² СВ АЛЬТЕРА. Каталог для енергетиків та інженерів з автоматизації: каталог: розробник і виробник «СВ АЛЬТЕРА». Київ, 2023. 490 с.

ЗМІСТ

<i>«Кафедра технічних та програмних засобів автоматизації...»</i>	3
1. Косенко В. В., Коротинський А. П. Застосування моделей оцінки глибини для аналізу ди-сперсного складу емульсії	5
2. Максименко О. Є, Складанний Д. М., Лукінюк М. В. Синтез системи керування алкільатором із застосування <i>MPC</i> -регулятора	7
3. Бородько О. Є., Ситніков О. В. Автоматизоване керування процесом синтезу аміаку з людино-машинним інтерфейсом	9
4. Абрамова А. О., Бондаренко С. Г., Бугаєва Л. М., Примиська С. О., Селецька А. М. Комп'ютерний розрахунок матеріального балансу процесу отримання оксиду етилену	10
5. Марченко С. В., Нельга А. Т., Шульга В. В. Діагностика технічного стану ліфтових канатів	12
6. Голяк Н. І., Козаневич З. Я. Комбінована система регулювання процесу абсорбції при очищенні газу від сірки	14
7. Денисюк В. Ю., Кравчук О. О. Система керування точністю мікропереміщень предметного столика мікроскопа	16
8. Котелевич І. С., Ладієва Л. Р. Синтез оптимального лінійного закону керування процесом етерифікації	18
9. Носов А. О., Коржик М. В. Постановка задачі багатокритеріальної оптимізації руху мобільних роботів у виробничому середовищі	20
10. Пухняк М. Б., Ситніков О. В. Автоматизація установки гідрокрекінгу з псевдозрідженням шаром каталізатора	22
11. Лук'янов Д. О., Тюріна Є. О. Аналіз процесу вирощування монокристалів як об'єкта автоматизації	23
12. Стороженко П. О., Плашихін С. В., Лукінюк М. В. Автоматизація процесу виробництва мильних та вуглеводних мастил періодичним способом	25
13. Юхимович А. М., Ситніков О. В. Автоматизація процесу виробництва сірчаної кислоти із сірководню	27
14. Пелипенко Н. С., Ладієва Л. Р. Оптимальне програмне керування процесом виробництва етанолу гідролізом деревини	28
15. Савула А. А., Коротинський А. П. Класифікація аудіальних сигналів для визначення техніко-експлуатаційного стану об'єкта	30
16. Дробаха В. О., Дунаєва Т. А. Огляд та аналіз методів штучного інтелекту, що використовуються при очищенні та моніторингу води	32
17. Бугаєва Л. М., Абрамова А. О., Билбас Д. О. Очищення технологічних газів від CO_2 на основі метилдіетаноламіну (<i>MDEA</i>)	34
18. Юденко В. В., Ситніков О. В. Створення структурно-параметричної схеми реактора	36
19. Авраменко А. А., Варакута І. Є., Коротинський А. П. Алгоритм фесерверків як метод оптимізації налаштувань ПІ-регулятора	37
20. В'ялий Є. Р., Квітка О. О. Система контролю і моніторингу установки каталітичного риформінгу нафтопродуктів	39
21. Біганський Б. М., Ковалюк Д. О. Математична модель мультироторного БПЛА з 6-DOF	41
22. Анбінська А. О., Тюріна Є. О. Математичне моделювання аміачного холодильника у процесі розділення суміші вуглеводнів	43
23. Савченко Т. В., Ярощук Л. Д. Аналіз ризиків порушень технології у виробництві термічної фосфорної кислоти	45
24. Федоренко І. В., Квітка О. О. Моделювання хлоратора в технологічному процесі термічного хлорування метану як об'єкту керування	47

25. Щербань М. В., Тюріна Є. О. Математичне моделювання випарного реактора у процесі виробництва нітриту калію.....	49
26. Путятін Р. О., Цапар В. С. Ідентифікація робочої характеристики клапана за дослідними даними.....	51
27. Цуркан В. О., Ярошук Л. Д. Система аналізу даних у виробництві гранульованих добрив на основі використання протоколу <i>OPC UNIFIED ARCHITECTURE</i>	53
28. Клапійок Ю. В., Тюріна Є. О. Задачі керування процесом окиснення нафтового бітуму в режимі нормальної експлуатації.....	55
29. Сачевнік М.Л., Козаневич З. Я. Стабілізаційна колона для очищення гасу від домішок вуглеводнів як об'єкт регулювання температури	57
30. Семянїста В. О., Квітка О. О. Синтез системи керування процесом отримання силікатного скла	59
31. Труш А. С., Тюріна Є. О. Математичне моделювання котла-утилізатора у процесі синтезу аміаку	60
32. Геращенко В. В., Запорожець Ю. А. Моделювання ректифікаційної колони у процесі гідрокрекінгу у стаціонарному шарі каталізатора	62
33. Бугай Д. І., Курбан С. В., Складанний Д. М. Лабораторний стенд об'єкта керування «Нагрівання суміші в печі»	64
34. Титов П. О., Кузіков Б. О. Комплексний підхід до виявлення маскування доступності	66
35. Касян Є. В., Запорожець Ю. А. Автоматизоване керування процесом виробництва карамелі розробленим програмним забезпеченням.....	68
36. Мاستрюков Т. М., Борисов Ю. М., Маківчук О. В. Розроблення навчального стенда керування дискретними входними та вихідними сигналами	70
37. Артеменко М. І., Плашихін С. В. Моделювання процесу охолодження в процесі двоступеневого очищення природних газів	72
38. Напханюк О. О., Ладієва Л. Р. Математичне моделювання печі в процесі гідрокрекінгу із псевдозрідженим шаром каталізатора	74
39. Невлюдов І. Ш., Борщов І. В. Автоматизована інформаційно-вимірювальна система оптичного контролю гнучких алюміній-поліімідних надтонких мікрокабелів	76
40. Павлов С. Г., Лисенко В. П., Лендел Т. І. Застосування методів комп'ютерного зору для аналізу зображень біоматеріалу в контексті біогазового виробництва.....	78
41. Мельник В. С., Смітюх Я. В. Експериментальні дослідження динаміки температури в конвективній сушарці	81
42. Гуменюк К. О., Складанний Д. М. Моделювання технологічного процесу очищення гасу	83
43. Фоменко В. О., Шовкопляс О. А. Оптимізація розпізнавання обличчя за технологією гібридного підходу	85
44. Невлюдов І. Ш., Стрілець Р. Е., Нікітін Д. О. Розробка системи автоматизованого керування фотополімерним 3D-друком	86
45. Савченко І. В., Болбот І. М. Застосування модуля уваги у полегшеній моделі для виявлення хвороб рослин у спорудах закритого ґрунту	88
46. Папченко О. І., Кузіков Б. О. Оцінка достовірності та інтерпретованість результатів класифікації в системах діагностики раку	90
47. Artem Sazonov, Danylo Zghurskyi, Aleksey Kuchkin. Grasping Points Estimation for Arbitrary-Shaped Objects in Automated Palletizing Under Low Light Conditions	92
48. Shulhin O. L. Automation of Quality Control for Dental Implants Using Machine Vision.....	94
49. Янушкевич Д. А., Іванов Л. С., Прудніков Д. Д., Межанов А. А. Модель інтелектуальної системи управління РТК у сфері гуманітарного розмінування	96
50. Сташкевич П. М., Лукінюк М. В. Вимірювання рівня сипкого матеріалу за допомогою екранного рівнеміра та EOM.....	98

Наукове видання

АВТОМАТИЗАЦІЯ
ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ – 2025

ХІ МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
МОЛОДИХ УЧЕНИХ, АСПІРАНТІВ І СТУДЕНТІВ

АКІТ – 2025

Київ, 07 травня 2025 року

Матеріали конференції

Укладання та комп'ютерне верстання *Михайла Лукінюка*

Матеріали подано в авторській редакції

Надруковано з оригінал-макета замовника

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Свідоцтво про державну реєстрацію: серія ДК № 5354 від 25.05.2017 р.
просп. Берестейський, 37, м. Київ, 03056

Підп. до друку 06.05.2025. Формат 60×84¹/₁₆. Папір офс. Гарнітура Arial.
Спосіб друку – електрографічний. Ум. друк. арк. 6,07. Обл.-вид. арк. 6,32.
Наклад 20 пр. Зам. № 25-033.

Видавництво «Політехніка» КПІ ім. Ігоря Сікорського
вул. Політехнічна, 14, корп. 15
03056, м. Київ
тел. (044) 204-81-78