

## АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТОТЕХНІКА

УДК 681.5

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-2-10>

### НАЛАШТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ У ПРОМИСЛОВОМУ РЕЗЕРВУАРІ

**Вінковський Марко Сергійович,**

майстер дільниці з обслуговування та експлуатації КВП та А  
Олександрійська філія концерну «МТМ», м. Запоріжжя  
ORCID ID: 0009-0009-2210-0233

**Койфман Олексій Олександрович,**

кандидат технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем  
ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»  
ORCID ID: 0000-0003-2075-7417

**Ливада Вадим Валентинович,**

студент-магістр  
ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»  
ORCID ID: 0009-0003-9044-4798

**Узлов Юрій Вікторович,**

студент-магістр  
ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»  
ORCID ID: 0009-0004-1307-2916

*У статті розглядається важливість точного та надійного контролю та регулювання рівня рідини в баках для різних промислових сфер, як-от металургія, водопостачання та хімічні процеси. Проведено аналіз різних методів автоматичного регулювання рівня рідини, як-от релейний регулятор, П-регулятор, ПІ-регулятори та ПІД-контролери, кожен із яких має свої переваги та недоліки. Розроблено цифрового близнюка бака-накопичувача для симуляції й аналізу перехідних процесів у регулюванні рівня, що дозволяє досліджувати реакцію системи на різні вхідні збурення та налаштовувати регулятори ефективніше. Після порівняння різних типів регуляторів рівня й аналізу їхніх результатів були зроблені висновки щодо найбільш ефективного регулятора для конкретного застосування.*

**Ключові слова:** регулятор, рівень, цифровий близнюк, керування.

#### **Vinkovskyi Marko, Koifman Oleksiy, Lyvada Vadym, Uzlov Yuriy. Tuning of the Automatic Water Level Control System in Industrial Tank**

*The article discusses the importance of accurate and reliable liquid level monitoring and control in tanks for various industrial sectors, such as metallurgy, water supply, and chemical processes. Various types of sensors are described, and an analysis of different methods of automatic liquid level regulation is conducted, including relay regulators, P-regulators, PI-regulators, and PID-controllers, each with its own advantages and disadvantages. The use of a digital twin of the storage tank for simulating and analyzing transient processes in level control is explored, allowing the investigation of the system's response to various input disturbances and more efficient tuning of regulators. After comparing different types of level regulators and analyzing their results, conclusions were drawn regarding the most effective regulator for specific applications.*

**Key words:** regulator, level, digital twin, control.

**Вступ.** Автоматичне регулювання рівня рідини в баках є важливою технологічною операцією в різних промислових секторах, зокрема для підготовки підживлювальної води, що використовується в агрегатах теплових електростанцій і металургійних комбінатах. Точний і надійний контроль рівня є критично важливим для забезпечення безперервного виробництва та запобігання небезпечним ситуаціям, як-от перелив рідини або замалий рівень для живлення котлів-парогенераторів [1].

У роботі проведено дослідження й аналіз різних методів автоматичного контролю та регулювання рівня в баках, зважаючи на їхні переваги, недоліки та сфери застосування. Особливу увагу приділено технічним аспектам автоматичного регулювання рівня. Сенсор рівня вимірює поточне значення рівня рідини в баку та передає цю інформацію в систему керування. Контролер аналізує отримані дані і видає сигнали для керування виконавчими пристроями, як-от насоси, клапани або інші, які регулюють рівень рідини в баку відповідно до заданих значень.

Метою роботи є використання цифрового близнюка об'єкта керування та моделювання перехідних процесів для розкриття сутності та переваг різних методів автоматичного регулювання рівня в баках із метою забезпечення оптимального функціонування технологічних процесів у різних галузях виробництва.

**Матеріали та методи.** Для визначення основних напрямів дослідження та розуміння тенденції актуальних досліджень щодо регулювання рівня було розглянуто різноманітні літературні джерела, присвячені обраній темі.

Автори статті [2] проводять аналіз системи автоматичного керування рівня води в ємності, яка функціонує у трьох режимах налаштування контролера: пропорційного (далі – П), пропорційно-інтегрального (далі – ПІ) та пропорційно-інтегрально-диференційного (далі – ПІД). Дослідження базується на порівнянні даних, отриманих у лабораторії заводу *UiTM Pulau Pinang*, і результатах моделювання у програмному забезпеченні MATLAB. Авторами встановлено, що ПІД-регулятор забезпечує кращу точність і швидкість реакції системи, особливо за низьких значень коефіцієнтів підсилення. Надано рекомендації щодо використання високих значень пропорційної смуги, великих інтегральних часів і низьких диференційних часів для оптимізації роботи ПІД-регуляторів.

Автори дослідження [3] аналізують використання керування рівня в деаераторі на атомній

електростанції. Зазвичай для цієї мети використовується традиційний одноімпульсний ПІД-регулятор. Проте, з огляду на зростання вимог до участі електростанції в регулюванні пікового навантаження в енергосистемі, можливості такого підходу вже не відповідають сучасним стандартам. У роботі було розроблено триімпульсний ПІД-регулятор рівня деаератора з метою вирішення цієї проблеми. Окрім того, для оцінки ефективності розробленої системи було проведено численні експерименти на симуляторі атомної електростанції.

У статті [4] розглядається взаємозв'язок між рівнем води в конденсаторі та рівнем води в деаераторі на морській паровій електростанції. Для досягнення задовільного керування автори пропонують вжити відповідних заходів для роз'єднання цих процесів. Зазначається, що ПІД-нейронна мережа має переваги над класичним ПІД-регулятором через можливість навчання, запам'ятовування та нелінійного апроксимування. У статті пропонується стратегія регулювання рівня води в деаераторі та рівня води в конденсаторі на основі ПІД-нейронної мережі, яка інтегрує ПІД та нейронну мережу, створюючи пропорційний, інтегральний і диференціальний нейрони відповідно до пропорційної, інтегральної та диференціальної частини регулятора. Також запропоновано метод вибору початкових ваг і коефіцієнта навчання з досвіду ПІД з метою підвищення продуктивності збіжності ПІД-нейронної мережі. Результати симуляції показують, що стратегія регулювання рівня води нейромережевим ПІД-регулятором може відповідати вимогам регулювання багатозмінної системи та є ефективнішою в регулюванні рівня води в конденсаторі та деаераторі, порівняно зі стратегією ПІД-керування.

У статті [5] розглядається деаераційна установка, яка входить у склад другого контуру атомної електростанції. Ключовим регульованим параметром у деаераторі є тиск у колонці цієї системи. Керування роботою деаератора виконується за допомогою цифрових ПІ-регуляторів, що базуються на програмно-технічному комплексі автоматизованої системи керування (далі – АСК) турбінного відділення. Основною метою розроблення є забезпечення безкавітаційної роботи турбоживильного насоса. Це досягається шляхом забезпечення високої якості регулювання параметрів у деаераторі за допомогою цифрового ПІ-регулятора.

У [6] розглянуто два методи налаштування регуляторів рівня відповідно до конкретних

потреб. Контроль рівня та тиску має дві основні мети: утримання їх на сталому рівні через їхній вплив на процес чи функціонування обладнання, або компенсацію варіацій витоку для забезпечення матеріального балансу. У разі потреби в «жорсткому» контролі використовується швидкодіючий регулятор тиску з можливістю позиціонування, щоб уникнути вторинних затримок, які можуть призвести до осцилюючої поведінки за високих значень коефіцієнтів регулювання.

Якщо регулятор рівня або тиску взаємодіє з регулятором витоку, останній повинен бути налаштований максимально «жорстко». Для контролера середнього рівня рекомендується використовувати пропорційний регулятор зі значенням установки на рівні 50% від діапазону, коефіцієнтом 1,0 та вихідним відхиленням у 50%. Це дозволяє цілком відкривати клапан за 100% від діапазону та цілком закрити його за 0%, використовувати повну потужність клапана та резервуара. Використання відповідного типу регулятора допомагає досягти необхідних результатів у системах автоматичного керування рівнем.

У статті [7] представлено дослідження адаптивної системи управління для підтримки тиску та рівня в деаераторі на базі нейро-нечіткої логіки (ANFIS), яка поєднує нечітку логіку та нейронні мережі. Навчання ANFIS проводилось за допомогою ПІ-контролера, який слугував «учителем» для ANFIS. Результати моделювання показали, що система з контролером ANFIS для керування тиском і рівнем у деаераторі за нормальних умов може забезпечити дуже малий максимальний перегин та мале значення інтегральної абсолютної помилки (IAE). Використання нейро-нечіткого контролера має низку недоліків: для навчання необхідна значна кількість вхідних і вихідних даних; неточні або шумні дані можуть призвести до погіршення продуктивності моделі; потребує значних обчислювальних потужностей, що може бути проблематичним для застосувань у реальному часі; складність оновлення моделі за змін умови роботи або виникненні нових вимог.

Важливо відзначити, що кількість відповідних наукових публікацій є обмеженою, що вказує на потребу проведення додаткових досліджень у даній сфері. Отримані у процесі цього огляду знання дозволять проводити більш глибокий аналіз даних у майбутніх дослідженнях.

**Результати.** Для проведення дослідження був використаний цифровий близнюк бака-накопичувача (рис. 1), який було створено за допомогою програми *Factory I/O* від Real Games [8].



Рис. 1. Модель бака

*Factory I/O* дозволяє симулювати роботу програмованих контролерів (PLC) різних виробників, як-от Siemens і Allen-Bradley, та використовувати протоколи Modbus та OPC. Окрім того, є можливість реалізації тривимірної візуалізації різноманітних виробництв на основі передвизначених компонентів.

Цифровий близнюк бака-накопичувача (рис. 1) включає такі компоненти: бак заввишки 3 м та об'ємом 6 м<sup>3</sup> із вбудованим датчиком рівня типу Krohne BM 26A [9], два регулювальних клапани для подачі та зливу води, які дозволяють наповнювати бак, а також зливати воду з витратою від 0 до 0,35 м<sup>3</sup>/г. Також є можливість вимірювати витрату на виході бака за допомогою датчика витрати. Додатково реалізовано пульта управління, який дозволяє виконувати місцеве керування регулятором, обирати дистанційний або автоматичний режими роботи, задавати уставку рівня, а також відстежувати показники датчиків і відсоток відкриття клапанів.

За програмний контролер для цього дослідження обрано симулятор S7-PLCSIM Advance, для збирання й оброблення даних використовувався пакет WinCC Unified (рис. 2), які є частиною Siemens TIA Portal [10]. Ці продукти корпорації "Siemens" вписуються в концепцію Industry 4.0, яка передбачає інтеграцію цифрових технологій у виробничі процеси.

Для розширення можливостей дистанційного керування моделлю і спільної роботи декількох дослідників над експериментом була розроблена програма (рис. 3) у середовищі Node-RED [11; 12], що дозволяє реалізувати передачу даних за допомогою протоколу OPC-UA до хмарної платформи Ubidots для реалізації дистанційного керування

об'єктом дослідження (рис. 4). Загалом, використані інструменти надають можливість проводити експерименти в кіберпросторі лише за допомогою комп'ютерної апаратної частини та є вдосконаленням класичного підходу моделювання

роботи систем автоматизації [13]. Це гарантує безпеку досліджень, знижує ризик і розширює спектр можливостей порівняно з експериментами на реальних об'єктах. Структуру програмного забезпечення дослідження наведено на рис. 5.



Рис. 2. Інтерфейс програми WinCC Unified

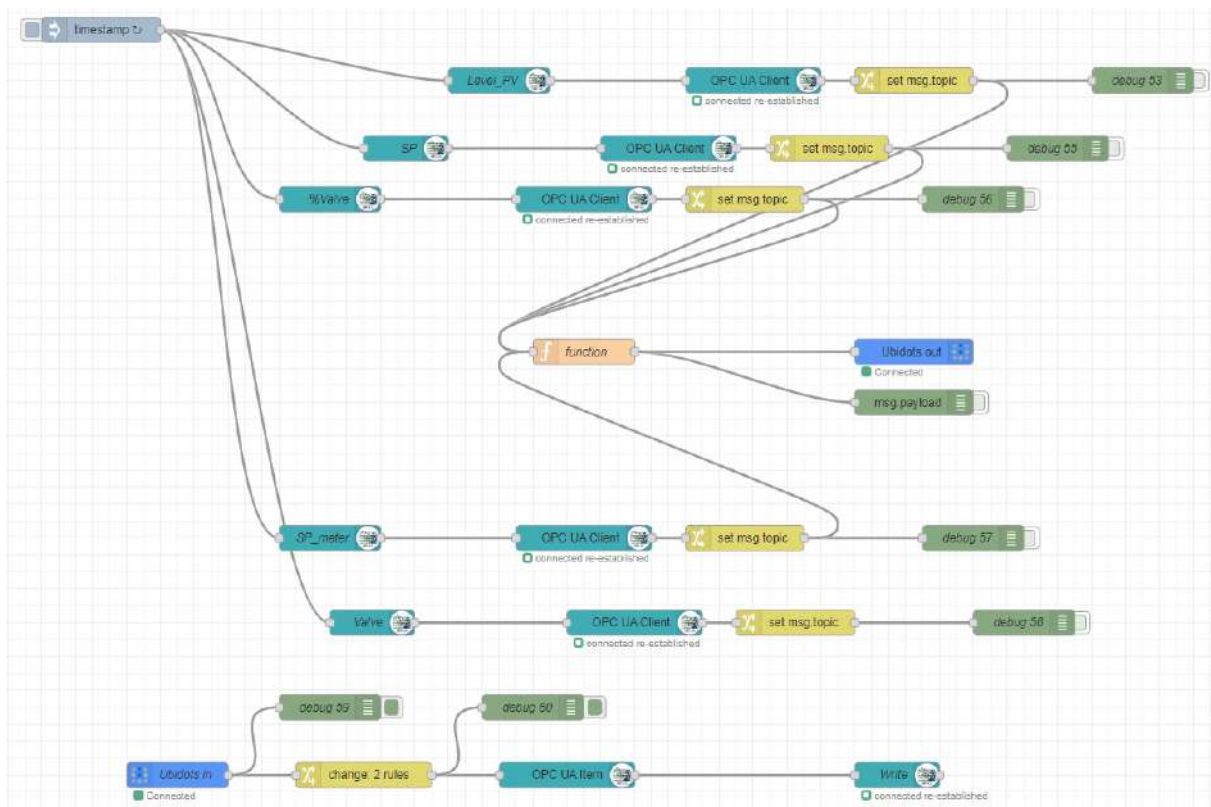


Рис. 3. Потік у середовищі Node-RED

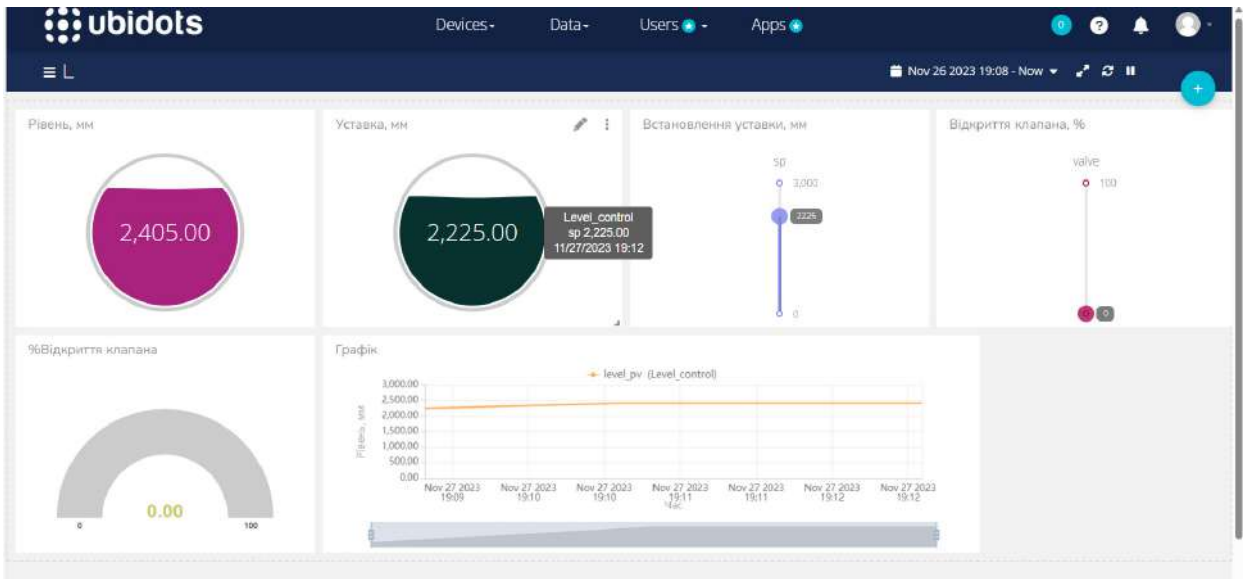


Рис. 4. Візуалізація в сервісі Ubidots

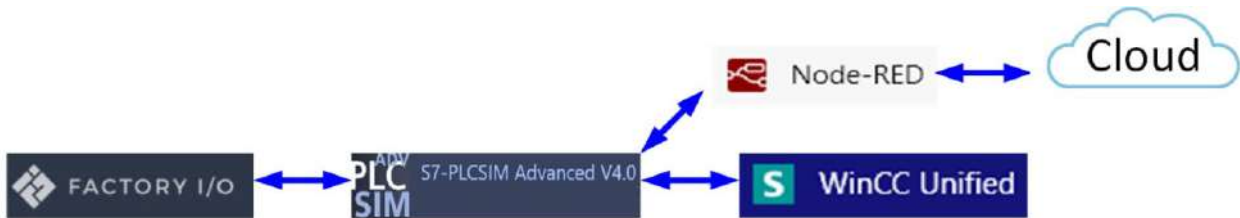


Рис. 5. Схема взаємозв'язку програмних засобів дослідження

У межах дослідження проводилися порівняння різних типів регуляторів рівня води, зокрема релейного, П-регулятора, «жорсткого» і усереднювального ПІ-регулятора, а також ПІД-контролера, налаштованого з використанням вбудованих можливостей автотюнінгу TIA Portal, і ПІД-контролера, налаштованого за допомогою нейромережі в середовищі MATLAB.

Релейний регулятор – це один із видів автоматичних регуляторів, який використовує релейний елемент для управління системою. Принцип його роботи базується на вимірюванні величини вихідного сигналу системи та порівнянні її із заданою величиною, а потім уведенні коригуючого сигналу для забезпечення стабільності та точності регулювання. Основна перевага цього підходу полягає у простоті та надійності. Однак у деяких випадках вони можуть викликати коливання або нестабільність у системі, тому їх застосовують переважно у простих системах або як частину більш складних регуляторів.

Для розроблення систем «жорсткого» керування рівнем потрібно мати швидкодіючий регулювальний клапан, з позиціонером, щоб уникнути вторинних затримок, які спричинятимуть

осциляційну поведінку за високих коефіцієнтів керування. Зазвичай для «жорсткого» керування рівнем чи тиском досить лише пропорційного режиму. Коефіцієнт пропорційності має бути в межах 1–10% від діапазону. Якщо затримка датчика рівня чи тиску велика, можна додати диференційний режим для компенсації цього, що дозволяє використовувати вищий коефіцієнт пропорційності. Інтегральний час диференціації повинен бути приблизно рівним часовій константі датчика.

Усереднювальне регулювання рівня полягає у вирівнюванні варіацій потоку, водночас важливо уникати переливання рідини з резервуара. Якщо рівень у такій ситуації регулюється жорстко, вихідний потік буде так само змінюватися, як і вхідний (або вхідні), і це буде так, ніби резервуар (або накопичувач) не існував. Контролер середнього рівня повинен мати пропорційну величину із заданим значенням 50% діапазону, коефіцієнтом 1,0 (пропорційна зона 100%), вихідним зсувом у 50%. Ця конфігурація сприяє повному відкриттю клапана виходу, коли рівень є 100% діапазону, і повністю його закриває, коли рівень є 0% діапазону, використовує повний обсяг клапана та резервуара. Вищий

коефіцієнт зменшив би ефективну ємність резервуара для вирівнювання варіацій у потоці, тоді як менший коефіцієнт зменшив би ефективну ємність регульовального клапана та створив би можливість переливання або випадіння рідини з резервуара. Запропонований алгоритм дозволяє резервуару вести себе як фільтр.

Для проведення експерименту була створена відповідна програма для контролера Siemens, яка містить алгоритм перемикання між кількома регуляторами. Для кожної ітерації дослідження були встановлені однакові уставки у 2 м, витрата злива води на 50% відкриття спускного клапана. Після проведення досліду фіксувались результати, зокрема у вигляді трендів у програмі WinCC. Для визначення оптимальних параметрів реального об'єкта керування (деаератор ТЕЦ) використовувались методи

з дослідження [14]. Налаштування коефіцієнтів регулятора відбувається за допомогою вбудованої можливості TIA Portal.

Результати досліджень зведені в табл. 1 та зображені на рис. 9: для релейного (а), ПІД-регулятора (б), двох ПІ-регуляторів із різними параметрами (в) і (г).

Релейний регулятор забезпечує швидке досягнення уставки, але водночас має невелику точність (рис. 6-а). Простота цього регулятора є його перевагою, його можна відтворити без використання мікропроцесорної техніки. ПІД-регулятор (рис. 6-б) налаштований за допомогою вбудованого автотюнінгу в TIA Portal, забезпечує точне регулювання, але занадто часто змінює положення виконавчого клапана, що може викликати небажані часті коливання. На графіку (рис. 6-в) представлений ПІ-регулятор

Таблиця 1

Порівняння налаштувань регуляторів

Рис. 9	Тип регулятора	Коефіцієнт К	Коефіцієнт І	Коефіцієнт D	Значення гістерезису
а)	Релейний	–	–	–	50 мм
б)	ПІД autotune	0,246	10,14	2,6	–
в)	ПІ	1	12 с	–	–
г)	ПІ	0,6	1 200 с	–	–

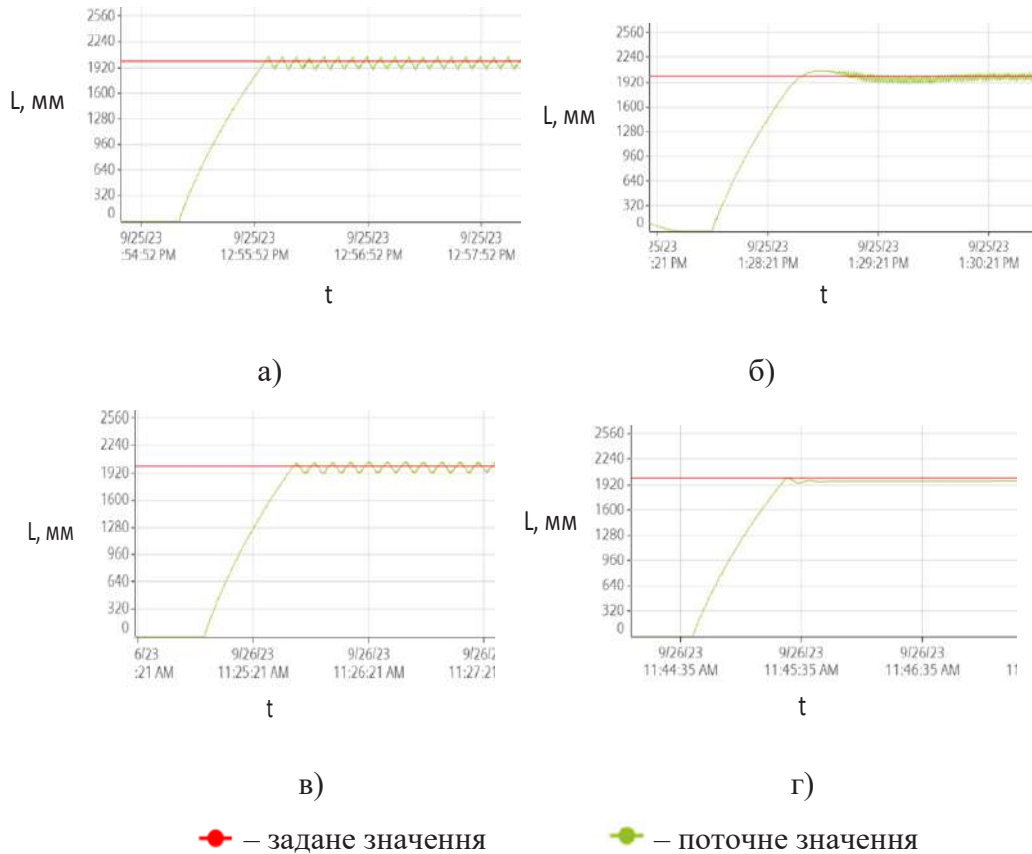


Рис. 6. Результати досліджень

із параметрами  $K = 1$  і  $I = 12$  с. Його характеристика схожа з релейним регулятором, але вона більш «м'яка» і точна. На графіку (рис. 6-г) також ПІ-регулятор, але з параметрами  $K = 0,6$  та  $I = 1\ 200$  с, який забезпечує максимально стабільне підтримання заданого параметра, але має статичну похибку в межах 1,2%.

Було проведено понад декілька десятків експериментів з різними параметрами, у даній роботі відображені найбільш показові та результативні. Можна зробити висновок, що найкращий тип регулятора для вирішення даної проблематики за визначеними параметрами є ПІ-регулятор із коефіцієнтами 0,6 і 1 200 с відповідно. Він забезпечує точне регулювання і майже статичну поведінку системи за досягнення заданого рівня. Використання цифрового близнюка дозволило безпечно й ефективно проводити різноманітні експерименти та досліджувати поведінку об'єкта регулювання.

Наступним кроком дослідження була ідентифікація об'єкта дослідження за допомогою нейронної мережі прямого поширення. Вхідними даними було використано масиви таких даних,

як: вхідний вплив, значення рівня із затримкою в один крок дискретизації, значення рівня із затримкою у два кроки дискретизації. Для отримання даних була створена програма експерименту, яка збільшувала завдання відкриття клапана на 10% кожні 6 секунд. Це зроблено для передачі поведінки системи протягом усього діапазону роботи. За результатами перевірки отриманої мережі, у разі подання на вхід 100% відкриття клапана, рівень сягає позначки у 3 000 мм за такий самий час, як і цифровий близнюк бака.

Для подальших дослідів було використано можливість вбудованого блока регулятора в середовищі *Simulink*. Для цього додаємо до отриманої моделі блок ПІД-регулятора, а також уведемо від'ємний зворотний зв'язок за допомогою блока суматора з відповідними налаштуваннями (рис. 7).

Для перевірки роботи системи налаштовано регулятор з використанням параметрів, які були обрані раніше, система видає схожий результат, але з набагато меншим часом досягнення сталого режиму (рис. 8). Що може свідчити про некоректність використання даної моделі.

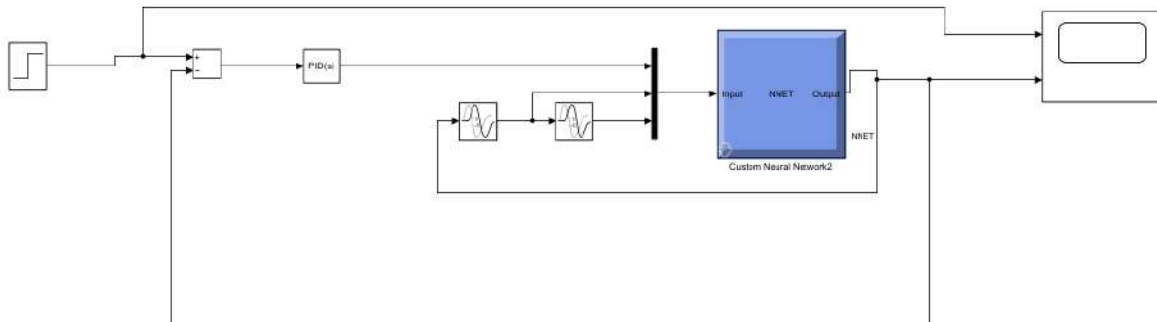


Рис. 7. Схема регулювання в MATLAB

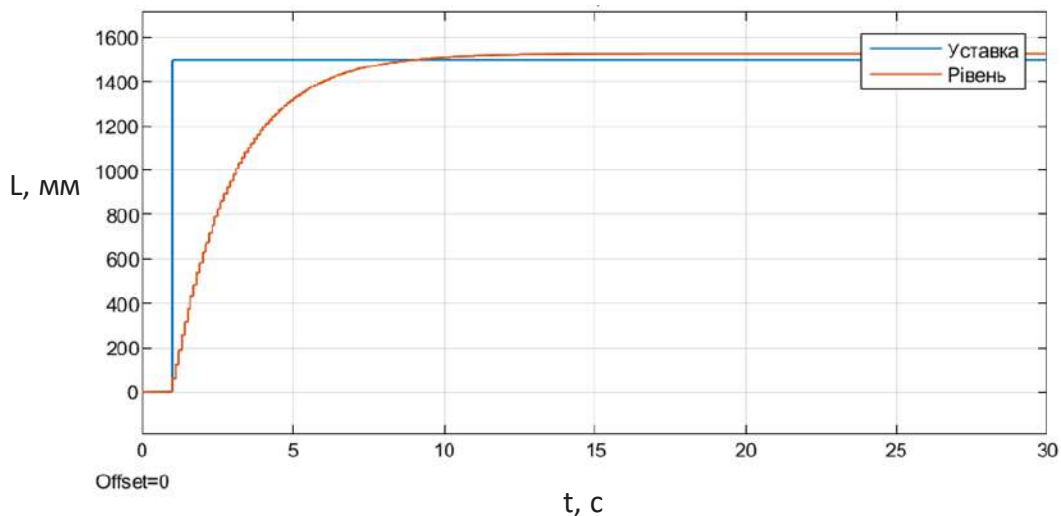


Рис. 8. Результат роботи моделі

Далі було проведено перевірку шляхом використання автоматичного налаштування блока регулятора в MATLAB (рис. 10). У разі застосування автотюнінгу отриманий результат також виявився некоректним (рис. 11), що свідчить про те, що дану модель неможливо цілком налаштувати за допомогою автоматичних методів.

Наступним кроком дослідження було використання пакету *Fuzzy Logic ToolBox* середовища MATLAB для розроблення та реалізації систем нечіткого керування. Для порівняння класичного регулятора та регулятора з нечіткою логікою використовувалась модель *Simulink* (рис. 12), з можливістю перемикання між фаззі-системою регулювання рівня рідини в резервуарі та блоком PID регулювання.

Порівняння результатів симуляції ПІД-регулятора (рис. 13) та фаззі-регулятора (рис. 14) показало доволіні результати, але потребує подальшого вивчення для налаштування під встановлене завдання та можливість інтеграції в систему управління реального технологічного процесу.

**Висновки.** Проведено кілька досліджень, які присвячені різноманітним методам налаштування та використання регуляторів рівня води. Для аналізу класичних регуляторів був використаний цифровий об'єкт, на основі якого були проведені необхідні експерименти. У результаті досліджень виявлено, що релейний регулятор забезпечує швидке досягнення уставки, але характеризується невеликою точністю. Простота цього регулятора є його перевагою, його

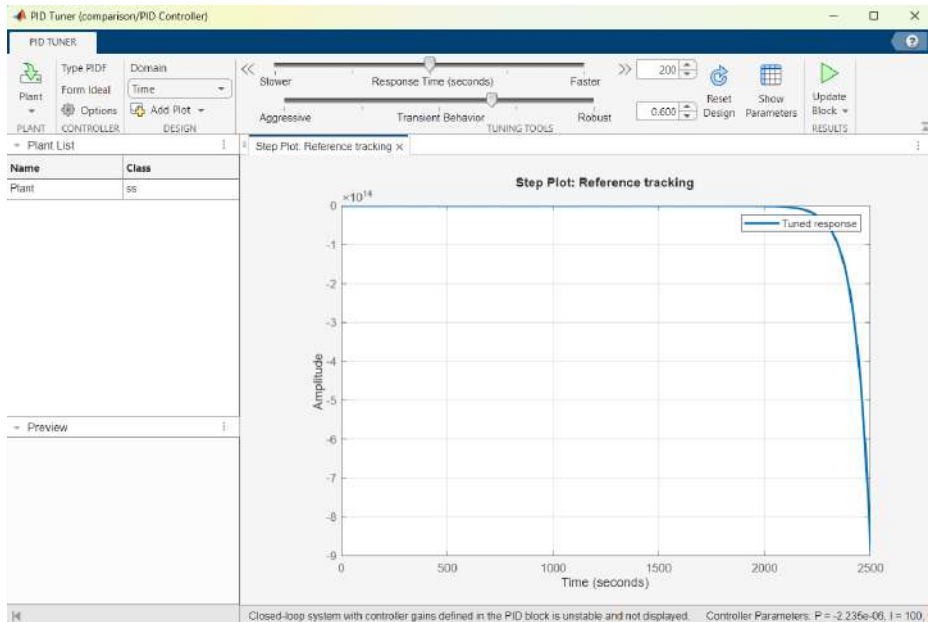


Рис. 9. Процес автоматичного налаштування

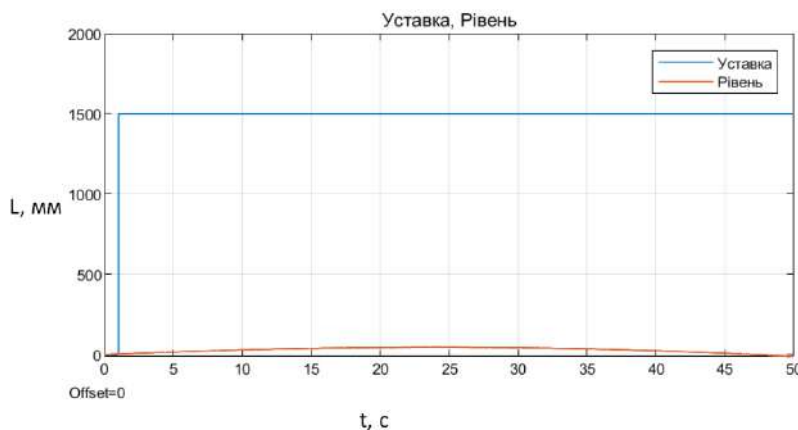


Рис. 10. Результат роботи регулятора з параметрами, що отримані автоматичним налаштуванням



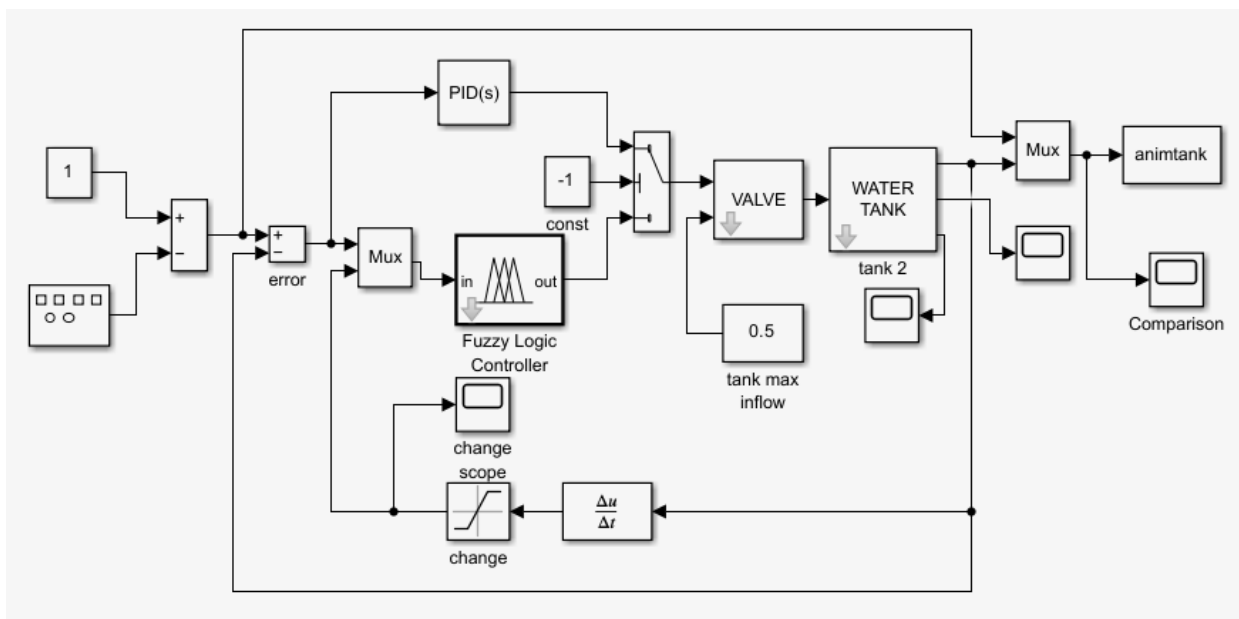


Рис. 11. Схема регулятора рівня з нечіткою логікою

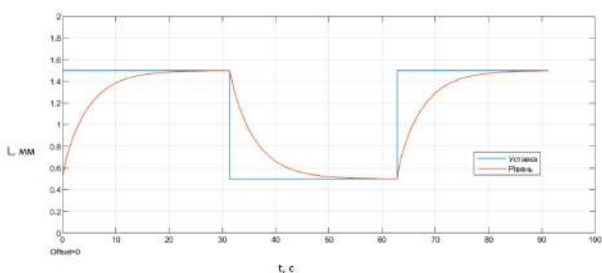


Рис. 12. Результати моделювання ПІД-регулятора

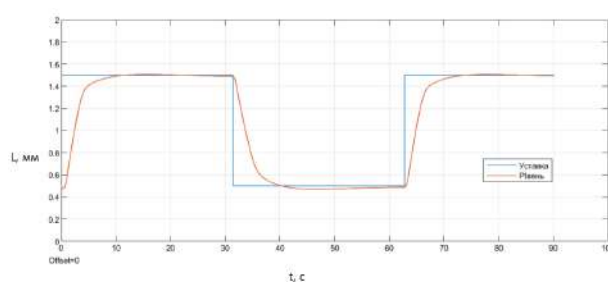


Рис. 13. Результати моделювання фаззі-регулятора

можна реалізувати без використання мікропроцесорної техніки.

ПІД-регулятор, налаштований за допомогою вбудованого автотюнінгу в TIA Portal, забезпечує точне регулювання, але часто змінює положення виконавчого клапана, що може спричинити небажані часті коливання. ПІ-регулятор із параметрами  $K = 1$  і  $I = 12$  с має характеристику, схожу з релейним регулятором, але вона більш «м'яка» і точна. Інший ПІ-регулятор, з параметрами  $K = 0,6$  і  $I = 1200$  с, забезпечує максимально стабільне підтримання заданого параметра, але має статичну похибку в межах 1,2%.

Надалі були проведені дослідження щодо використання нейронної мережі прямого

поширення для ідентифікації об'єкта. Під час моделювання з ручним налаштуванням регуляторів у середовищі *Simulink* отримані результати виявились задовільними; однак за спроби використання автоматичного налаштування коефіцієнти виявились некоректними, що свідчить про непридатність використання такого інструменту ідентифікації об'єкта.

Також було проведено дослідження використання регулятора з нечіткою логікою. Порівняно із класичним регулятором цей регулятор не має перерегулювання, але має більший час досягання сталого режиму. Цей тип регулятора є перспективним, але потрібно виконати додаткові дослідження, що буде наступним етапом у вивченні автоматичного регулювання рівня в баку.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Вінковський М., Койфман О. Research of Automatic Water Level Control in a Tank. *International scientific conference "MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education"* : conference proceedings, November 29–30, 2023. Riga, the Republic of Latvia. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2023. Vol. 2. P. 20–24. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-87>.

2. Comparative study of PID controlled modes on automatic water level measurement system / S. Isa et al. *2011 IEEE 7th International Colloquium on Signal Processing and its Applications, Penang, Malaysia*. 2011. P. 237–242. <https://doi.org/10.1109/CSPA.2011.5759879>.
3. Design and implement the deaerator level digital control system of nuclear station / C. Li et al. *2010 Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, Yantai, China, 2010*. P. 665–667. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2010.5569418>.
4. Decoupling control based on PID neural network for deaerator and condenser water level control system / W. Peng et al. *2015 34th Chinese Control Conference (CCC), Hangzhou, China, 2015*. P. 3441–3446. <https://doi.org/10.1109/ChiCC.2015.7260169>.
5. Полушкін Є.М., Лисюк Г.П. Автоматична система регулювання тиску в деаераторі. *Учені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. Серія «Технічні науки». 2019. Т. 30 (69). № 1. Ч. 1. С. 142–147. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-1/26>.
6. Corripio A.B. *Tuning of industrial control systems*. 2nd ed. *ISA The Instrumentation, Systems, and Automation Society*. 2001. 252 p.
7. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) for Controlling Level and Pressure on Deaerator / S. Sumardi et al. *TEKNIK*. 2019. Vol. 40. № 2. P. 77–83. <https://doi.org/10.14710/teknik.v39i3.22087>.
8. Factory I/O – Next-Gen PLC Training. URL: <https://factoryio.com/> (дата звернення: 06.01.2024).
9. Magnetic level indicator for basic liquid applications BM26A-1000. URL: <https://krohne.com/en/products/level-measurement/level-indicators-bypass-chambers/magnetic-bypass-level-indicators/bm26a-1000>.
10. TIA Portal. [siemens.com Global Website](https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html). URL: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html> (дата звернення: 13.06.2024).
11. Node-RED, українською. URL: <https://pupenasan.github.io/NodeREDGuidUKR/> (дата звернення: 06.01.2024).
12. Node-RED. Low-code programming for event-driven applications. URL: <https://nodered.org/> (дата звернення: 06.01.2024).
13. Модернізація системи автоматизації енерготехнологічного комплексу «паровий котел – вакууматор» в умовах ККЦ ПРАТ «МК «Азовсталь»» / А.І. Сімкін та ін. *Наука та виробництво*. № 24. С. 183–192. URL: <http://sap.pstu.edu/article/view/250738>.
14. Analytical study of methods of identification of control object / О. Койфман та ін. *MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education*. 2023. P. 113–147. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-382-8-7>.

#### REFERENCES:

1. Vinkovskiy, M., Koyfman, O. (2023) Research of Automatic Water Level Control in a Tank. *International scientific conference "MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education" : conference proceedings, November 29–30, 2023, Riga, the Republic of Latvia*. Riga, Latvia : Baltija Publishing. Vol. 2. Pp. 20–24. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-87>.
2. Isa, S., Meng, B.C.C., Saad, Z., Fauzi, N.A. (2011). Comparative study of PID controlled modes on automatic water level measurement system. *2011 IEEE 7th International Colloquium on Signal Processing and its Applications, Penang, Malaysia*. P. 237–242. <https://doi.org/10.1109/CSPA.2011.5759879>.
3. Li, C., Qian, H., Sun, Y. (2010). Design and implement the deaerator level digital control system of nuclear station. *2010 Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, Yantai, China*. P. 665–667. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2010.5569418>.
4. Peng, W., Hao, M., Peng, D., Ri-hui, D. (2015). Decoupling control based on PID neural network for deaerator and condenser water level control system. *2015 34th Chinese Control Conference (CCC), Hangzhou, China*. P. 3441–3446. <https://doi.org/10.1109/ChiCC.2015.7260169>.
5. Polushkin, Ye.M., Lysyuk, H.P. (2019). Avtomatychna systema rehulyuvannya tysku v deaeratori [Automatic pressure control system in the deaerator. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernads'koho. Seriya "Tekhnichni nauky"*. V. 30 (69). № 1 (1). P. 142–147. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-1/26> [in Ukrainian].
6. Corripio, A.B. (2001). *Tuning of industrial control systems*. 2nd ed. *ISA The Instrumentation, Systems, and Automation Society*. 252 p.
7. Sumardi, S., Riyadi, M.A., Aprivirly, L.N. (2019). Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) for Controlling Level and Pressure on Deaerator. *TEKNIK*. Vol. 40. № 2. P. 77–83. <https://doi.org/10.14710/teknik.v39i3.22087>.
8. Factory I/O – Next-Gen PLC Training. Retrieved from: <https://factoryio.com/> (date of access: 06.01.2024).
9. Magnetic level indicator for basic liquid applications BM26A-1000. Retrieved from: <https://krohne.com/en/products/level-measurement/level-indicators-bypass-chambers/magnetic-bypass-level-indicators/bm26a-1000>.
10. TIA Portal. [siemens.com Global Website](https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html). Retrieved from: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html>.
11. Node-RED. Retrieved from: <https://pupenasan.github.io/NodeREDGuidUKR/>.
12. Node-RED. Low-code programming for event-driven applications. Retrieved from: <https://nodered.org/>.
13. Simkin, A.I., Koyfman, O.O., Pakhomov, S.O. (2021). Modernizatsiya systemy avtomatyzatsiyi enerhotekhnologichnoho kompleksu "parovyy kotel – vakuuator" v umovakh KKTS PRAT "MK "Azovstal'" [Modernization of the Energy Technological Complex "Steam Boiler – Vacuumator" Automation System in the Conditions of Oxygen Converter Shop PJSC "MK "Azovstal'"]. *Science and Production*. № 24. S. 183–192. Retrieved from: <http://sap.pstu.edu/article/view/250738> [in Ukrainian].
14. Koyfman, O., Miroschnychenko, V., Simkin O. (2023). Analytical study of methods of identification of control object. *MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education*. Pp. 113–147. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-382-8-7>.