

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 62-533.66

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/08>**Батюк С.Г.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Лядишев Д.К.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Імітаційне моделювання динамічних систем – актуальний напрямок і ефективний інструментарій програмного моделювання динаміки з використанням як універсальних, так і спеціалізованих програмних продуктів. Імітаційне моделювання технологій, агрегатів, виробництв і кібер-фізичних систем – це програмне (віртуальне) моделювання фізичних (реальних) активів. Імітаційне моделювання автоматизованого технологічного комплексу – це програмно-технічне моделювання контролерної і супервізорної функціональності автоматизованої системи управління з використанням програмних (не фізичних і не математичних) моделей (цифрових двійників) технологічного об'єкту управління. Функціональне імітаційне моделювання динамічної системи – імітаційне моделювання функцій динамічної системи. Структурне імітаційне моделювання динамічної системи – моделювання взаємодії структурних частин динамічної системи.

На кафедрі автоматизації теплоенергетичних процесів Київського Політехнічного Інституту розроблюються полігони імітаційного моделювання автоматизованих технологічних комплексів теплоенергетичних режимних параметрів. Програмно-модельним інструментарієм розробки полігону імітаційного SIL-моделювання автоматизованого технологічного комплексу є: 1) альбом моделей «Моделювання елементів і структур промислових систем автоматичного регулювання в Matlab Simulink» для імітаційного функціонального моделювання систем автоматичного регулювання; 2) програмно-технічний SIL-симулятор автоматизованих технологічних комплексів на платформі Matlab Simulink – CoDeSys – WebStudio для імітаційного структурного моделювання автоматизованих технологічних комплексів.

Розроблений програмно-технічний SIL-симулятор є ефективним програмно-модельним інструментарієм розробки полігонів імітаційного SIL-моделювання автоматизованих технологічних комплексів. Розроблені полігони імітаційного SIL-моделювання автоматизованих технологічних комплексів можуть бути використані як в навчальному процесі (основне призначення), так і техно-робочому проектуванні чи модернізації автоматизованих технологічних комплексів (опція). Ідеологія імітаційного моделювання автоматизованих технологічних комплексів може бути реалізована для будь-якого автоматизованого технологічного комплексу, а також в MES-системах на зовсім іншій програмно-технічній платформі.

Ключові слова: імітаційне моделювання, полігон імітаційного моделювання, програмно-технічний симулятор, імітаційне функціональне моделювання, імітаційне структурне моделювання, SIL-моделювання, HIL-моделювання, цифрові двійники, цифрові близнюки, САР режимного параметру, автоматизований технологічний комплекс.

Постановка проблеми. Імітаційне моделювання динамічних систем – актуальний напрямок і ефективний інструментарій програмного моделювання динаміки з використанням як універ-

сальних, так і спеціалізованих програмних продуктів [1]. Для промислової автоматизації значний практичний інтерес має імітаційне моделювання динамічних систем в системах автоматизованого

управління технологічними процесами промислових технологічних агрегатів, в тому числі теплоенергетичних агрегатів.

Технологічний об'єкт управління (ТОУ) – це технологічний агрегат, який автоматизується. Структурно ТОУ складається з окремих об'єктів управління (ОУ) – каналів передачі дії «регульовальна дія – регульований параметр». Сучасні автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП; надалі просто АСУ) ТОУ є дворівневими. Програмно-технічною платформою контролерного (нижнього) рівня АСУ є програмовані логічні контролери (ПЛК). Бізнес-логіка (неперервне регулювання і програмно-логічне управління) в ПЛК реалізується функціональними блоками (ФБ). Програмно-технічною платформою супервізорного (верхнього) рівня АСУ є HMI/SCADA-системи (надалі системи ЛМІ – людинно-машинного інтерфейсу). Візуалізація в ЛМІ реалізується графічними вікнами з вставленими і анімованими графічними елементами і контролами (меню, мнемосхеми, аларми, тренди, рецепти, розклади, звіти тощо). Оператор технологічного процесу (ОТП) через ЛМІ реалізує автоматизоване (за участі людини) управління технологічними процесами ТОУ. Автоматизований технологічний комплекс (АТК) – це ТОУ з АСУ, якою ОТП управляє цим ТОУ. АТК – це сукупність систем автоматичного регулювання (САР). Автоматична система регулювання (АСР) – це сукупність програмно-технічних засобів (сенсори; засоби візуалізації; регулятори; актуатори) в складі САР. АСУ – це сукупність АСР. САР – це ОУ (як канал передачі дії) з АСР, яка управляє цим ОУ. САУ – система автоматичного управління, яка об'єднує декілька функціонально взаємодіючих САР. Сучасна АСУ функціонально структурується на дві підсистеми: інформаційно-вимірювальну

систему (ІВС) і регульовально-виконавчу систему (РВС). ІВС – це сукупність вимірювальних каналів (ВК) технологічних параметрів (сенсори або давачі Д; реєструючі прилади РП; вхідні модулі – аналогово-цифрові перетворювачі АЦП – ПЛК). РВС – це сукупність регульовально-виконавчих каналів (РВК) технологічних параметрів (ФБ в ПЛК; вихідні модулі – цифро-аналогові перетворювачі ЦАП – ПЛК; актуатори або виконавчі механізми ВМ; блоки ручного управління БРУ для вибору режимів автоматичного (від ПЛК) або ручного і дистанційного управління з пульта оператора ВМ в ручному режимі; регулюючі органи РО). Програмно-технічні засоби (ПТЗ) АСР – це сукупність ВК і РВК в складі АСР (коректно буде також сказати – в складі САР).

На рисунку 1 представлена схема структурна сучасної ПТЗ типової каскадної САР (на конкретному прикладі). Схема демонструє: 1) вимірювання параметрів давачами Д1 і Д2 і вхідними АЦП ПЛК (регульований параметр – температура зворотної води; параметр з проміжної точки – температура прямої води); 2) первинну обробку виміряних сигналів в ПЛК (ФБ на схемі не вказані); 3) каскадне регулювання в ПЛК (ФБ коригуючого регулятора температури зворотної води змінює завдання ФБ стабілізуючого регулятора температури прямої води); 4) видачу управляючого сигналу з ПЛК через вихідний ЦАП і БРУ на ВМ, який реалізує регульовальну дію – переміщення РО на подачі води в гріючий контур теплообмінника; 5) вторинну обробку виміряних даних в ЛМІ (обмін даними ПЛК-ЛМІ за протоколом OPC-UA; ЛМІ SQL-запитами записує історичні дані в SQL-СУБД; ЛМІ, як MQTT-публікатор (паблішер) передає файл даних на MQTT-брокер, де він зчитується MQTT-підписувачем (сабскрайбером)).

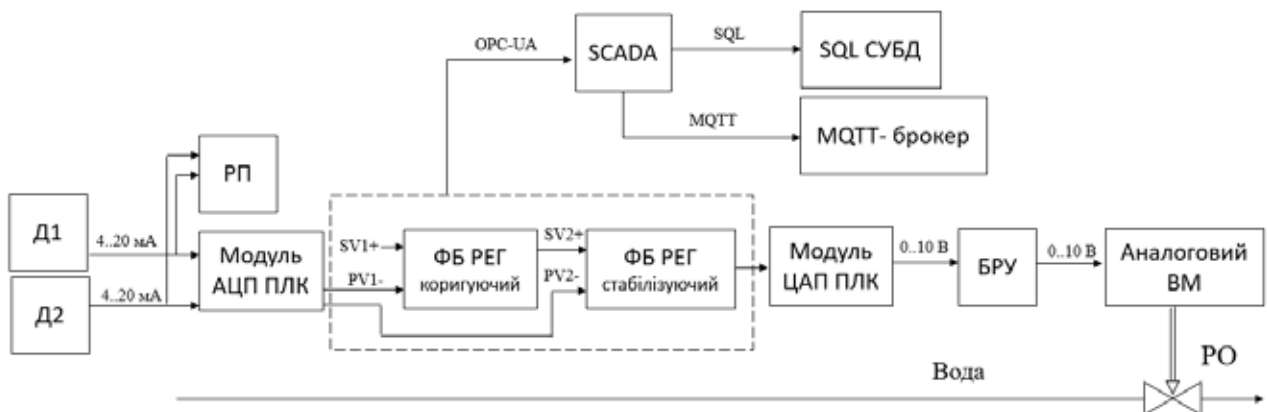


Рис. 1. Схема структурна ПТЗ каскадної САР температури зворотної води в незалежній системі центрального опалення. Регульовальна дія – зміна витрати води в гріючому контурі теплообмінника

Задачами імітаційного моделювання ПТЗ промислових САР є моделювання окремих функцій ПТЗ і моделювання взаємодії структурних компонентів ПТЗ (БК і РБК) з спільним використанням сучасного програмно-технічного інструментарію АСУ і систем комп'ютерного моделювання [2].

Аналіз проблеми. Моделювання об'єктів – це маніпулювання аналогами реальних об'єктів замість маніпулювання реальними об'єктами. Аналоги об'єктів можуть бути спрощеними, адекватними або складнішими порівняно з реальними об'єктами.

Різновиди моделювання динамічних систем

- Фізичне моделювання (фізичні аналоги фізичних об'єктів). Математичні засоби: теорія подібності, теорема Бекінгема (пі-теорема або теорема розмірностей), критерії (інваріанти) подібності. Застосування: авіація; космонавтика; теплоенергетика і ядерна енергетика; військова промисловість.

- Аналітичне моделювання (математичні аналоги динамічних систем). Математичні засоби: лінійні і нелінійні диференціальні рівняння. Застосування: динамічні системи в промисловості і в енергетиці.

- Програмне (імітаційне) моделювання (обчислювальні аналоги динамічних систем). Математичні засоби: передавальні функції, функціональні блоки, системи комп'ютерної математики (СКМ), блок-діаграми (MatLab Simulink), програмно-технологічні компоненти (MatLab SimScape). Застосування: динамічні системи в промисловості і в енергетиці.

Імітаційне моделювання технологій, агрегатів, виробництв і кібер-фізичних систем – це програмне (віртуальне) моделювання фізичних (реальних) активів. Вирізняють симуляцію і емуляцію. Симуляція – це імітаційне моделювання фізичного активу, яке імітує як структуру і динаміку фізичного активу, так і збурення (технологічні і параметричні) на фізичний актив. Емуляція – це імітаційне моделювання фізичного активу, яке імітує структуру і динаміку фізичного активу, але використовує для симуляції реальні (виміряні) збурення (технологічні і параметричні) на фізичний актив. Емулятор – це симулятор, зв'язаний з фізичним активом через реальні (які вимірюються в реальному часі) технологічні і параметричні збурення на фізичний актив.

Імітаційне моделювання АТК – це програмно-технічне моделювання контролерної і супервізорної функціональності АСУ з використанням програмних (не фізичних і не математичних) моделей

(цифрових двійників) ТОУ. Функціональне імітаційне моделювання динамічної системи – імітаційне моделювання функцій динамічної системи. Структурне імітаційне моделювання динамічної системи – моделювання взаємодії структурних частин динамічної системи.

Імітаційне моделювання АТК є ефективним інструментарієм для перевірки роботоздатності і налагодження АСУ за відсутності доступу до реального фізичного ТОУ і неможливості розрахунку динаміки систем автоматичного регулювання з використанням складних математичних моделей ТОУ. Імітаційне моделювання АТК використовується на стадіях проектування (розробки і програмування), впровадження, тиражування і модернізації АСУ.

ТОУ моделюється або в СКМ, або прямо в самому ПЛК. Реалізація ЛМІ – зовнішня SCADA-система або НМІ-панель самого ПЛК. Реалізація ПЛК – хардПЛК (реальний фізичний ПЛК) або софтПЛК (програмно реалізований в комп'ютері ПЛК).

Вирізняють: імітаційне SIL-моделювання АТК (Software-In-the-Loop: софтПЛК в колі зворотного зв'язку; модель ТОУ реалізована в СКМ; ЛМІ – зовнішня SCADA-система); імітаційне HIL-моделювання АТК (Hardware-In-the-Loop: хардПЛК в колі зворотного зв'язку; модель ТОУ реалізована прямо в хардПЛК; ЛМІ – НМІ-панель самого хардПЛК); імітаційне VIL-моделювання АТК (Viewer-In-the-Loop: модель ТОУ, ПЛК і ЛМІ реалізовані в НМІ/SCADA-системі).

Цифровий твінінг – це розробка і впровадження цифрових двійників. Цифровий двійник (Digital Twin – DT) – керована реальними виміряними даними цифрова копія фізичного активу для оптимізації активу в реальному часі впродовж всього циклу життя активу. Цифровий двійник реалізує патерн проектування M-V-C (Model-View-Controller – Модель-Візуалізація-Контролінг).

З позицій імітаційного моделювання, цифровий двійник – це емулятор фізичного активу, тобто симулятор фізичного активу, зв'язаний з цим фізичним активом через реальні (тобто вимірювані в реальному часі) технологічні і параметричні збурення на цей фізичний актив.

DT-прототип (DT-Prototype) – програмна модель фізичного активу без підключення до реальних вимірянних даних (тобто симулятор фізичного активу). DT-екземпляр (DT-Instance) – програмна модель фізичного активу з підключенням до реальних вимірянних даних (тобто емулятор фізичного

активу). DT-агрегатор (DT-Aggregate) – сукупність програмних моделей фізичних активів з підключенням до реальних вимірних даних і обміном даними між моделями (тобто емулятор комплексу фізичних активів). DT-продукт (DT-Product) – цифровий двійник окремого продукту. DT-процес (DT-Process) – цифровий двійник технологічного процесу. DT-система (DT-System) – цифровий двійник складної системи з продуктів і процесів. DT-колекція (DT-Collection) – колекція цифрових двійників. DT-середовище (DT-Environment) – фізичне середовище, з яким взаємодіють цифрові двійники (ПЛК для обміну даними тощо).

Екземпляри ЦД ТОУ (емюлятори ТОУ) має сенс використовувати в АСТД – автоматизованих системах технічної діагностики – для задач предиктивного обслуговування (predictive maintenance) технологічного обладнання на основі інформації від кількісних давачів (термометри, п'єзометри, витратоміри, рівнеміри, концентратоміри, контроль руху) і якісних давачів (спектрометрія, якісний аналіз тощо). Особливість: режим порадики; відсутність замкнених контурів регулювання режимних параметрів. Не має сенсу використовувати в імітаційних моделях АТК для тестування АСУ.

Прототипи ЦД ТОУ (симулятори ТОУ або просто імітаційні моделі ТОУ) має сенс використовувати в імітаційних моделях АТК. Мета – налагодження і тестування АСУ (на стадіях техно-робочого проектування, введення в дію, тиражування, модернізації). Особливість: замкнені контури регулювання режимних параметрів; одноконтурні і каскадні САР; взаємовпливи між САР через збурення зі сторони регулюючого органу і за навантаженням (а не тільки просто моделювання автономних САР). Не має сенсу використовувати в АСТД для задач предиктивного обслуговування (predictive maintenance).

Постановка завдання. На кафедрі автоматизації теплоенергетичних процесів (АТЕП) КПІ розроблюються полігони імітаційного моделювання АТК теплоенергетичних режимних параметрів. Полігони використовуються в навчальному процесі і входять до складу лабораторії імітаційного моделювання автоматизованих технологічних комплексів (ІМ АТК). Лабораторний комплекс ІМ АТК призначений для імітаційного моделювання теплоенергетичних кібер-фізичних систем (кібер-енергетичних систем). В лабораторії виконуються лабораторні роботи з автоматизації технологічних процесів, програмування контролерної і супервізорної функціональності АСУ. Лабораторія використовується для дослідження і розробки АСУ

в енергетиці і промисловості в процесі роботи над курсовими проектами, дипломними проектами бакалавра, магістерськими дисертаціями.

На рисунку 2 представлені структури полігонів імітаційного моделювання АТК в лабораторії ІМ АТК.

Полігон імітаційного SIL-моделювання АТК ТОУ призначений для: 1) використання в навчальному процесі кафедри АТЕП (наскрізна віртуальна комплексна лабораторна робота з дисциплін «Інформаційно-вимірювальні системи» (2 курс), «Автоматизовані системи управління» (3 курс), «Супервізорні засоби автоматизації» (4 курс)); 2) використання в якості програмно-технічного симулятора при проектуванні, модернізації і тиражуванні промислових АСУТП ТОУ.

Програмно-модельним інструментарієм розробки полігону імітаційного SIL-моделювання АТК ТОУ є: 1) альбом моделей «Моделювання елементів і структур промислових САР в СКМ Matlab Simulink» для імітаційного функціонального моделювання САР промислових систем; 2) програмно-технічний SIL-симулятор АТК на платформі Matlab Simulink – CoDeSys – WebStudio для імітаційного структурного моделювання АТК ТОУ.

Задачами розробки полігону імітаційного SIL-моделювання АТК ТОУ є: 1) зробити огляд АТК ТОУ; 2) виконати інженерний розрахунок САР режимного параметру; 3) виконати функціональне моделювання САР режимного параметру в СКМ Matlab Simulink; 4) виконати структурне моделювання САР режимного параметру в програмно-технічному SIL-симуляторі на платформі Simulink/CoDeSys/WebStudio; 5) розробити посібник «Полігон імітаційного SIL-моделювання АТК ТОУ» (порядок роботи з полігоном імітаційного SIL-моделювання АТК ТОУ).

Інженерний розрахунок АСУТП – це спрощений (арифметичні дії) і комплексний (метрологічний розрахунок; розрахунок надійності; вибір РО; розрахунок і функціональне моделювання динаміки) швидкий формульний розрахунок основних показників робоздатності САР в складі АСУТП, на основі якого приймаються рішення щодо експлуатації САР.

Склад полігону імітаційного SIL-моделювання АТК ТОУ: 1) посібник «Полігон імітаційного SIL-моделювання АТК ТОУ» з результатами розрахунків, імітаційного функціонального і структурного моделювання САР режимного параметру; 2) файл проекту функціонального моделювання САР режимного параметру в СКМ Matlab Simulink;

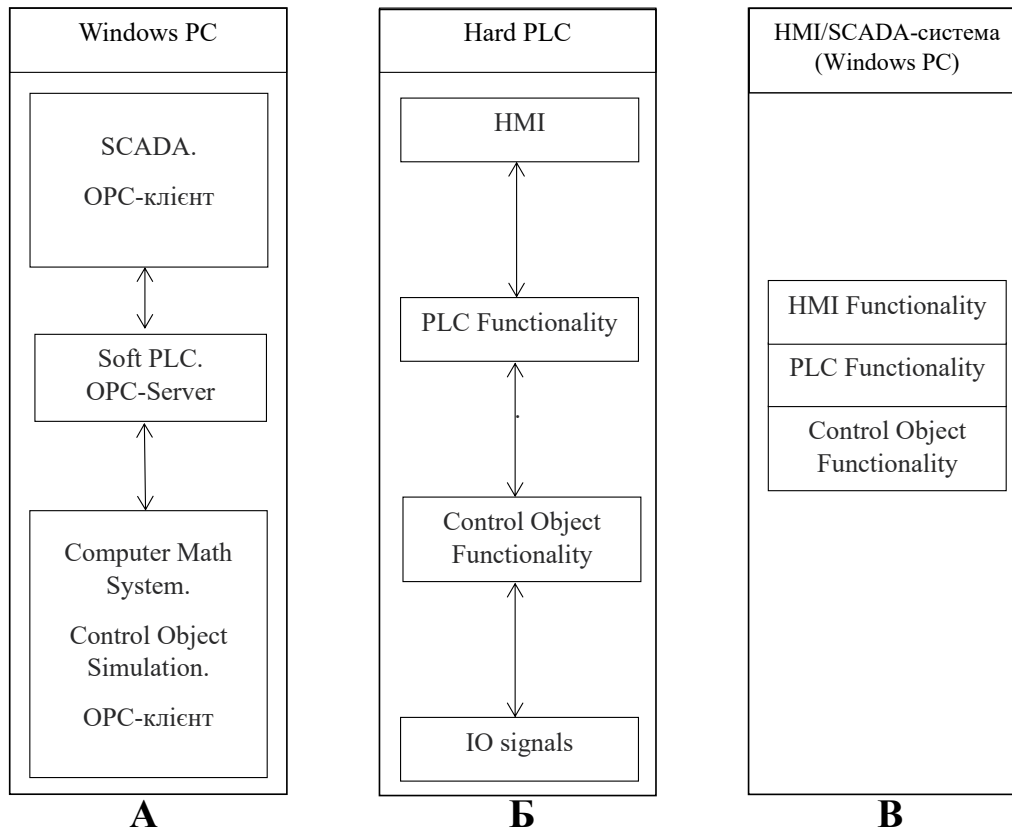


Рис. 2. Структури полігонів імітаційного моделювання ATK

- А) Структура полігону імітаційного SIL-моделювання ATK.
 Б) Структура полігону імітаційного HIL-моделювання ATK.
 В) Структура полігону імітаційного VIL-моделювання ATK.

3) сконфігурований програмно-технічний SIL-симулятор – папка проекту WebStudio з структурним моделюванням HMI/SCADA-функціональності САР режимного параметру.

Результати моделювання. Полігони імітаційного SIL-моделювання реалізують як функціональне, так і структурне імітаційне моделювання. ATK TOU, що дає можливість користувачу всебічно дослідити TOU і ATK, який розроблюється. Полігони підтримують імітаційне моделювання ВК ІВС АСУ і РВК РВС АСУ.

Функціональні моделі імітаційного SIL-моделювання ATK TOU (альбом моделей «Моделювання елементів і структур промислових САР в СКМ Matlab Simulink»)

- Моделі елементарних промислових TOU.
- Моделі фільтрів низької частоти, високої частоти і смугових.
- Модель зовнішньої і внутрішньої фільтрації сигналів і даних в теплоенергетичних САР.
- Модель аналогового ПІ-регулятора з виконавчим механізмом змінної швидкості (позиціонером).

- Модель релейно-імпульсного ДПІ-регулятора з виконавчим механізмом постійної швидкості (інтегратором); в комплекті – ПІ-закон регулювання.

- Модель нелінійного РО (квадратична нелінійність).

- Модель одноконтурної САР з ПІ-регулятором.

- Модель (одноконтурної) релейної САР з двопозиційним (релейним) регулятором.

- Модель комбінованої САР.

- Модель двоконтурної двовимпульсної САР.

- Модель двоконтурної каскадної САР.

- Модель двомірної системи зв'язаного регулювання.

- Модель структурно несталого САР.

- Модель САУ промислової топки: САР температури топки; САР пропорціонування витрати повітря; САР розрідження в топці.

- Модель САР тиску в колекторі.

- Модель САР каскадного басейну.

- Модель САУ газомазутового барабанного енергетичного парового котла з моделюванням

ефекту набрякання рівня пароводяної суміші в барабані: САР теплового навантаження (САР тиску в паропроводі турбіни); одноконтурна САР рівня в барабані котла з триімпульсним регулятором. Функціональне і структурне моделювання САУ представлено відповідно в роботах авторів [3] і [4].

- Моделі одноконтурних САР з структурними регуляторами. Предиктивний регулятор. Каскадний регулятор. Квадратичний регулятор.

Структурні моделі імітаційного SIL-моделювання АТК ТОУ (програмно-технічний SIL-симулятор АТК на платформі Matlab Simulink – CoDeSys – WebStudio)

На рисунку 3 представлений програмний компонент софтверного ПЛК CoDeSys для моделювання функцій первинної обробки сигналів в ПЛК. Програмний компонент підтримується вікном візуалізації в софтверному ПЛК CoDeSys з елементами управління і багатоточковим трендом. Програмний компонент дозволяє змоделювати в реальному часі типову контролерну функціональність ВК ІВС АСУ.

На рисунку 4 представлена модель універсального ТОУ в СКМ Matlab Simulink. Модель працює в реальному часі, тобто в темпі з реальним перехідним процесом. Обмін даними з софтверним ПЛК CoDeSys – за протоколом OPC-DA. Універсальність ТОУ полягає в наступному: 1) має швид-

кісну та інерційну частини з можливістю вимірювання сигналу з проміжної точки ОУ, що дає можливість використати ТОУ як в одноконтурній САР, так і в каскадній сар; 2) дозволяє реалізувати в реальному часі сигнальні збурення зміною завдання і зі сторони РО і параметричні збурення зміною параметрів ОУ; 3) дозволяє змоделювати низькочастотну і високочастотну зовнішні перешкоди для реалізації фільтрації вимірних даних в ПЛК.

На рисунку 5 представлений програмний компонент софтверного ПЛК CoDeSys для реалізації універсальної каскадної АСР в ПЛК. Програмний компонент підтримується вікном візуалізації в софтверному ПЛК CoDeSys з елементами управління і багатоточковим трендом. Обмін даними з ТОУ в СКМ Matlab Simulink – за протоколом OPC-DA. Програмний компонент дозволяє змоделювати в реальному часі типову контролерну функціональність каскадної САР. В промисловості практично використовуються тільки дві САР – одноконтурна і каскадна. Решта типів САР практично не використовуються, так як для реалізації своїх внутрішніх і зовнішніх компенсаторів потребують ланок реального диференціювання, які практично неможливо реалізувати в ПЛК. (Використовується релейна САР для тих ОУ, де реалізація САР з ПІ-регуляторами є занадто коштовною, наприклад в багатозонних – до 20 зон регулю-

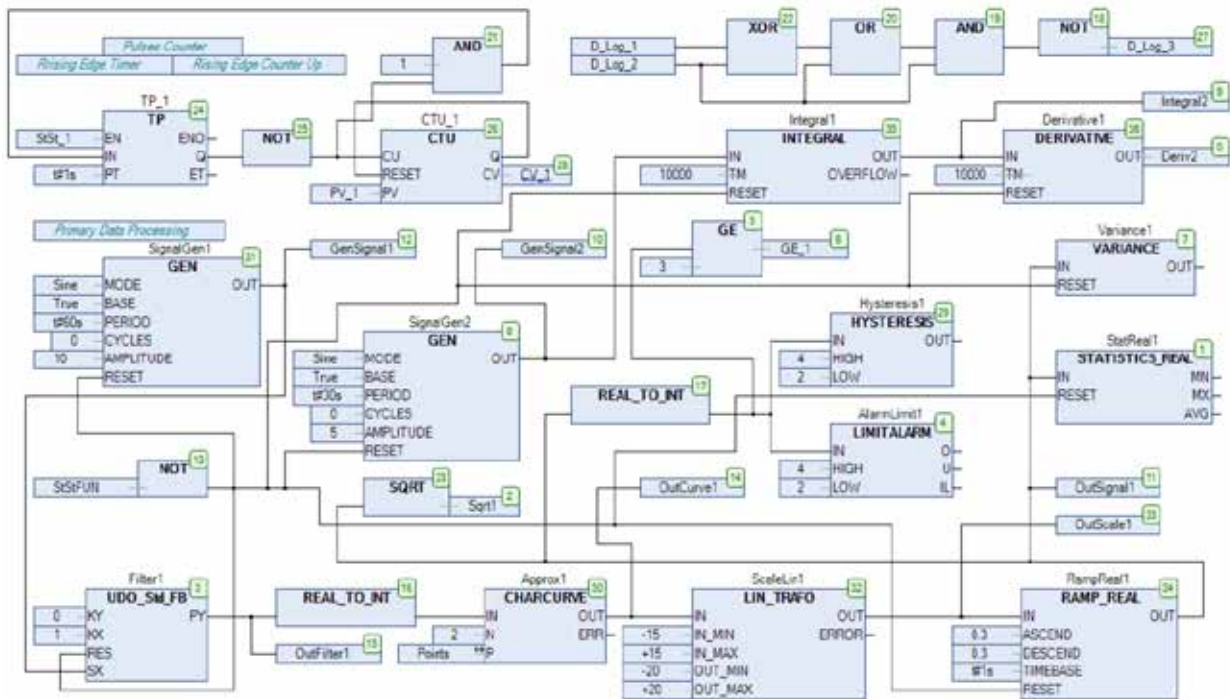


Рис. 3. Скріншот програмного компонента софтверного ПЛК CoDeSys для моделювання функцій первинної обробки сигналів в ПЛК

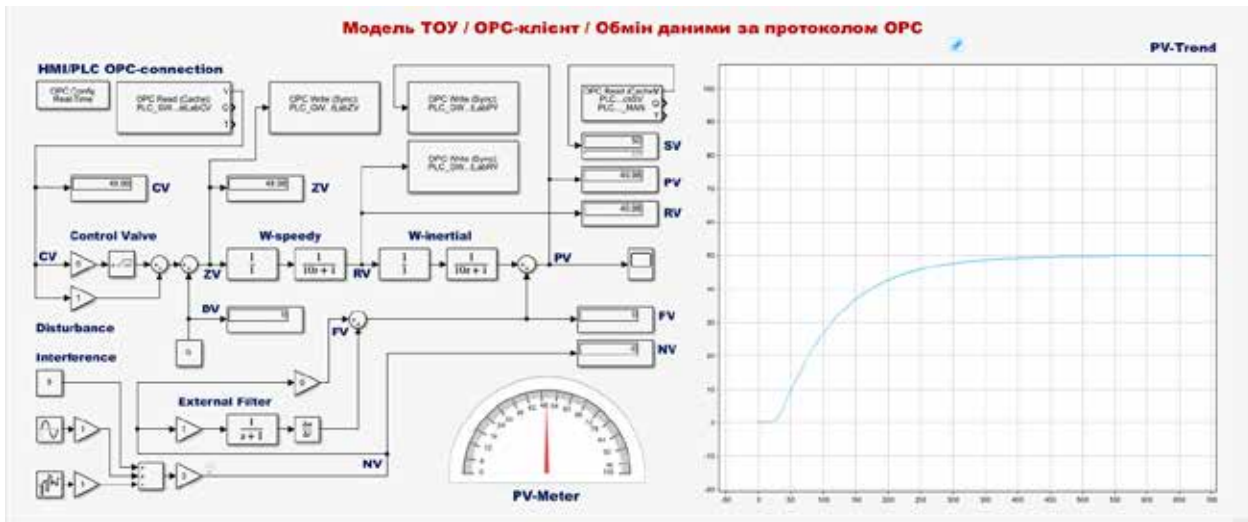


Рис. 4. Скріншот моделі універсального ТОУ в СКМ Matlab Simulink

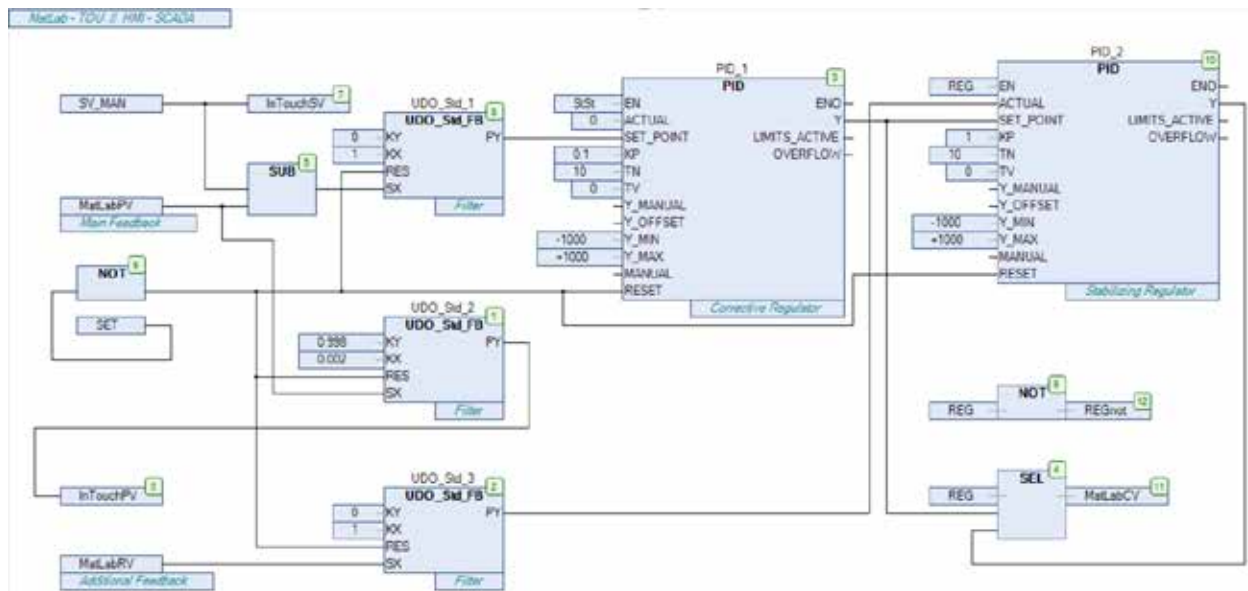


Рис. 5. Скріншот універсальної каскадної АСР в софтПЛК CoDeSys

вання температури – тунельних печак для випалення цегли.) Каскадна САР принципово суттєво краща за одноконтурну САР при збуренні зі сторони РО. При збуренні зміною завдання одноконтурна і каскадна САР забезпечують практично однакові перехідні процеси. Каскадна САР може бути реалізована тільки тоді, коли є можливість виміряти параметр з проміжної точки ОУ, тому каскадна САР – найкращий представник САР з додатковими інформаційними каналами (додатковими зворотними зв'язками). Універсальність каскадної АСР полягає в тому, що вона може бути легко трансформована в одноконтурну АСР – відключається стабілізуючий регулятор і коригую-

чий регулятор каскадної АСР стає регулятором одноконтурної АСР.

На рисунку 6 представлено вікно «Models» ЛМІ WebStudio. Вікно підтримує візуалізацію взаємодії універсального ТОУ в СКМ Matlab Simulink і універсальної АСР в софтПЛК CoDeSys. Іншими словами, вікно візуалізує перехідний процес в універсальній каскадній САР. Обмін даними з софтПЛК CoDeSys – за протоколом OPC-DA. Моделювання будь-якої САР як каскадної САР має сенс, так як каскадна САР може бути легко трансформована в одноконтурну САР шляхом трансформації каскадної АСР в софтПЛК CoDeSys в одноконтурну АСР.

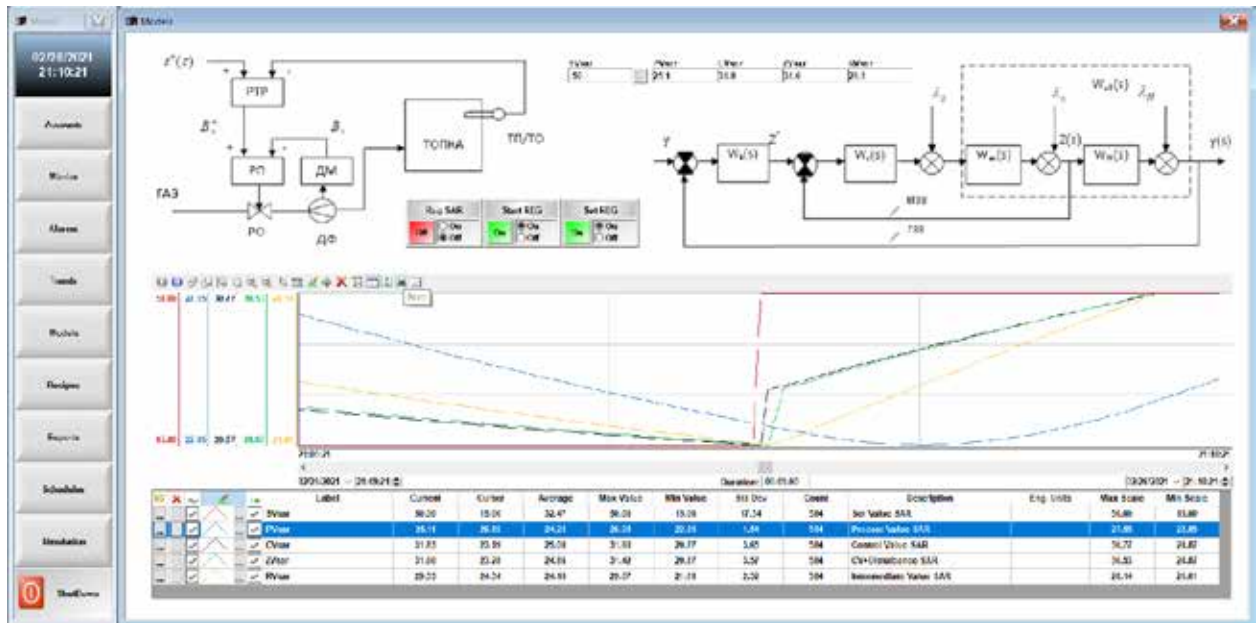


Рис.6. Скріншот вікна «Models» візуалізації каскадної САР в LMI WebStudio

В структурному моделюванні немає сенсу моделювати взаємодію САР, як це зроблено в функціональному моделюванні САУ промислової топки і САУ газомазуткового барабанного енергетичного парового котла. Причина – всі промислові САР є автономними, тобто мають працювати як автономні САР режимних параметрів незалежно від інших САР. Вплив іншої САР на роботу автономної САР – це збурення, яке потрібно парирувати; тобто автономна САР має реалізувати перехідний процес, що сходиться до заданного значення режимного параметру, з оптимальними прямими показниками якості перехідного процесу. Таким чином, в структурному моделюванні САУ ТОУ моделюється як сукупність автономних САР режимних параметрів.

В LMI WebStudio змодельовано Застосунок HMI-Standard функціональність (вікна «Menus», «Mimics», «Alarms», «Trends», «Models») і MES-Lite функціональність (вікна «Models», «Recipes», «Reports», «Schedules», «Simulation»). Назви вікон відповідають функціональності, яку вони візуалізують.

Додаткова функціональність програмно-технічного SIL-симулятора ATK TOU

- НІЛ-симуляція універсальної каскадної САР в софтПЛК CoDeSys. ТОУ реалізований спрощений (швидкісна та інерційна частини – по одній аперіодичній ланці першого порядку). Реалізована вся функціональність каскадної АСР. Реалізовані збурення зі сторони РО. Програмний компонент підтримується вікном візуалізації в софтПЛК

CoDeSys з елементами управління і багатоточковим трендом.

- VIL-симуляція універсальної каскадної САР в LMI WebStudio. ТОУ реалізований спрощений (швидкісна та інерційна частини – по одній аперіодичній ланці першого порядку). Реалізована вся функціональність каскадної АСР. Реалізовані збурення зі сторони РО. Скрипт підтримується вікном візуалізації «Simulation» в LMI WebStudio з елементами управління і багатоточковим трендом.

Примітка. Програмно-модельним інструментарієм для розробки полігонів імітаційного НІЛ-моделювання ATK в лабораторії ІМ ATK є програмно-технічний НІЛ-симулятор на платформі хардПЛК Unitronics OPLC UniStream.

Полігони імітаційного моделювання лабораторії ІМ ATK

1. Полігон імітаційного SIL-моделювання ATK пічних систем.
2. Полігон імітаційного SIL-моделювання ATK котельних систем.
3. Полігон імітаційного SIL-моделювання ATK інженерних систем.
4. Полігон імітаційного НІЛ-моделювання ATK теплоенергетичних систем.
5. Полігон імітаційного SIL-моделювання ATK з структурними регуляторами.
6. Полігон імітаційного SIL-моделювання ІВС теплоенергетичних режимних параметрів.
7. Полігон імітаційного НІЛ-моделювання ІВС теплоенергетичних режимних параметрів.

Розроблені полігони 1, 2, 3. Розробка полігонів 4, 5, 6, 7 планується на 2022-2023 навчальний рік.

Висновки і рекомендації. 1. Розроблений програмно-технічний SIL-симулятор є ефективним програмно-модельним інструментарієм розробки полігонів імітаційного SIL-моделювання АТК. 2. Розроблені полігони імітаційного SIL-

моделювання АТК можуть бути використані як в навчальному процесі (основне призначення), так і техно-робочому проектуванні чи модернізації АТК (опція). 3. Ідеологія імітаційного моделювання АТК може бути реалізована для будь-якого АТК, а також в MES-системах на зовсім іншій програмно-технічній платформі (як показано в роботі авторів [5]).

Список літератури:

1. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Санкт-Петербург, 2005. 400 с.
2. Рыбалев А.Н. Имитационное моделирование АСУ ТП. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2019. 408 с.
3. Батюк С.Г., Лобзов Н.С. Функціональне моделювання автоматизованого технологічного комплексу енергетичного барабанного котла. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2021. Том 32 (71). № 5. С. 65–73.
4. Батюк С.Г., Лобзов Н.С. Структурне (імітаційне) моделювання автоматизованого технологічного комплексу енергетичного барабанного котла. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2021. Том 32 (71). № 5. С. 74–82.
5. Батюк С.Г., Федь Т.І. Імітаційне моделювання АТК промислової логістики на основі програмного забезпечення Simio. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2020. Том 31 (70). № 6. С. 149–155.

Batiuk S.G., Liadyshev D.K. SIMULATION MODELING OF HEAT ENERGY AUTOMATED TECHNOLOGICAL COMPLEXES

Simulation modeling of dynamic systems is a relevant direction and an effective toolkit of software modeling of dynamics using both universal and specialized software products. Simulation modeling of technologies, aggregates, productions and cyber-physical systems is software (virtual) modeling of physical (real) assets. Simulation modeling of an automated technological complex is a software and technical simulation of the controller and supervisory functionality of an automated control system using software (non-physical and non-mathematical) models (digital duplicates) of the technological control object. Functional simulation modeling of a dynamic system – simulation modeling of the functions of a dynamic system. Structural simulation modeling of a dynamic system – modeling of the interaction of structural parts of a dynamic system.

At the department of automation of thermal energy processes of the Kyiv Polytechnic Institute, polygons for simulation modeling of automated technological complexes of thermal energy regime parameters are being developed. The program and modeling toolkit for the development of the simulated SIL modeling range of the automated technological complex is: 1) the album of models "Modeling of elements and structures of industrial automatic control systems in Matlab Simulink" for simulated functional modeling of automatic control systems; 2) software-technical SIL simulator of automated technological complexes on the Matlab Simulink – CoDeSys – WebStudio platform for simulated structural modeling of automated technological complexes.

The developed software-technical SIL-simulator is an effective software-model toolkit for the development of simulation SIL-modeling polygons of automated technological complexes. The developed polygons of simulated SIL modeling of automated technological complexes can be used both in the educational process (main purpose) and in techno-working design or modernization of automated technological complexes (option). The ideology of simulation modeling of automated technological complexes can be implemented for any automated technological complex, as well as in MES systems on a completely different software and technical platform.

Key words: *simulation modeling, simulation simulation polygon, software and technical simulator, simulation functional modeling, simulation structural modeling, SIL modeling, HIL modeling, digital doubles, digital twins, SAR mode parameter, automated technological complex.*