

ТРЕНАЖЕР-ІМІТАТОР ДЛЯ НАЛАГОДЖЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТА НАВЧАННЯ ФАХІВЦІВ З АВТОМАТИЗАЦІЇ

М.І. Козуляк, А.Л. Логінов, М.В. Торгунаков

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727148,
e-mail: trans@ukr.net*

Робота присвячена розробленню структури, а також алгоритмічних, математичних та програмних засад апаратно-програмного симулятора керованих об'єктів з метою підвищення ефективності відлагодження програмно-технічних комплексів та PLC на стадії проектування та впровадження систем управління на їхній основі і підготовки персоналу на об'єкті.

Ключові слова: мікроконтролери, симуляція, PLC, імітаційна модель.

Робота посвящена разработке структуры, а также алгоритмических, математических и программных основ аппаратно-програмного симулятора управляемых объектов с целью повышения эффективности отладки программно-технических комплексов и PLC на стадии проектирования и внедрения систем управления на их основе и подготовки персонала на объекте.

Ключевые слова: микроконтроллеры, симуляция, PLC, имитационная модель.

The paper is devoted to the development of the structure, algorithmic, mathematical and software basis of hardware-software simulator of controlled objects for increasing the efficiency of software and hardware complexes and PLCs debugging at the stage of designing and implementing control systems on their basis and training personnel at the facility.

Key words: microcontrollers, simulation, PLC, simulation model.

Вступ. За кілька останніх десятиліть промислове виробництво, в тому числі в переробних галузях, радикально змінилося. В життя прийшли нові технології, нове обладнання, нові форми організації праці. Ці зміни проявилися найбільш революційно в системах промислової автоматизації. Не тільки в індустріально розвинених країнах, але й у всьому світі пневматичні КВП замінюються на електронні, а на зміну щиту приходять мікропроцесорні системи управління. Докорінні зміни торкнулися і верхніх рівнів автоматизації – коло вирішуваних завдань надзвичайно розширилось.

Однак, це не скасувало провідної ролі людини в управлінні виробництвом. Навіть більше, як зазначила ще в 70-х роках ХХ століття відома англійська дослідниця Л. Бейнбрідж [1], іронія автоматизації саме в тому і полягає, що чим глибше виробництво автоматизоване, тим складнішими є завдання оператора, який ним керує.

Ускладнення виробничих процесів і систем управління змушує розглядати як ключові умови промислової ефективності та безпеки рівень підготовки персоналу, не тільки безпосередньо керуючого технологічними і виробничими процесами. Настільки ж високі вимоги висуваються тепер і до персоналу, що здійснює супровід і підтримку різноманітних заводських і корпоративних систем автоматизації (технологів, фахівців служб АСКТП і АСКП, фахівців планових і виробничих відділів та ін.).

Комп'ютерні та спеціалізовані тренажери на мікропроцесорній основі – ефективний засіб інжинірингу навичок оперативного персоналу.

З'явившись в своєму сучасному вигляді на межі 70-х і 80-х років минулого століття, вони перетворилися в незамінний за ефективністю і методичним наповненням засіб підготовки персоналу технологічних процесів – як операторів, так і обслуговуючого персоналу (польових об'їзників, фахівців з автоматизації та ін.).

Забезпечуючи тренінг в реалістичних умовах, вони дають студентам (майбутнім операторам) можливість взаємодіяти з "процесом", не турбуючись про можливість "що-небудь зламати", і допомагають приймати обґрунтовані рішення. Динамічні тренажери дуже важливі для адаптації фахівців до поведінки реального об'єкта і вироблення ними вірних способів реагування в різних виробничих ситуаціях. Особливо відзначимо спеціальні тренажерні засоби для інженерів з автоматизації, що дозволяють в безпечних для ТП умовах практикуватися в налаштуванні системи базового і розширеного регулювання [2].

Світовий ринок тренажерів в переробних галузях досяг в 2008 р. річного обсягу продажів в 400 млрд дол. США при прогнозі на 2014 р. більш ніж в 750 млрд дол. США і середньорічному зростанні в 11,8% [3]. Ця тенденція зберігається і зараз. Основна частка тренажерів розроблена для повномасштабної симуляції технологічних процесів з метою підготовки і навчання операторів та інженерно-технічного складу підприємств в розрізі формування підтримки прийняття рішень в штатних та аварійних ситуаціях.

На жаль, потужні і ефективні комерційні симулятори доступні для досить обмеженої кількості потенційних користувачів імітаційних

технологій через високу ціну від 50000\$ і вище. Тому метою розроблення є технології імітаційних досліджень на базі широко використовуваних і доступних за ціною програмних продуктів та засобів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В даний час існує безліч методів налагодження і діагностування комплексів АСК ТП. Всі вони поділяються на два основних типи – статичні та динамічні [4].

Статичний метод полягає у заданні певних вимог до сервісної апаратури і стендів, які включають вхідний контроль джерел живлення, модулів цифрового і аналогового введення-виведення, а також підбір апаратури для контролю і випробувань. Крім того, розробляються інформаційно-вимірювальні системи для автоматизації випробувань.

Динамічний метод включає комплексну налагодження системи і алгоритмів роботи системи. Динамічний метод, з точки зору метрології, не є точним, проте він може забезпечувати повну навантаженість системи змінними, що працюють в реальному масштабі часу, задавати складні спеціалізовані алгоритми, максимально імітуючи роботу системи, наближаючи отримання реальних робочих характеристик. Саме тому в даній статті приділено найбільшу увагу налагодженню систем АСУ ТП в динамічному режимі.

Відомі два методи налагодження проектів АСК ТП з реальним обладнанням по відношенню до способу емуляції керованого об'єкта:

- симуляція об'єкта керування з комп'ютерної платформи верхнього рівня;
- зовнішня імітація з використанням моделей реальних об'єктів та цифрових моделей.

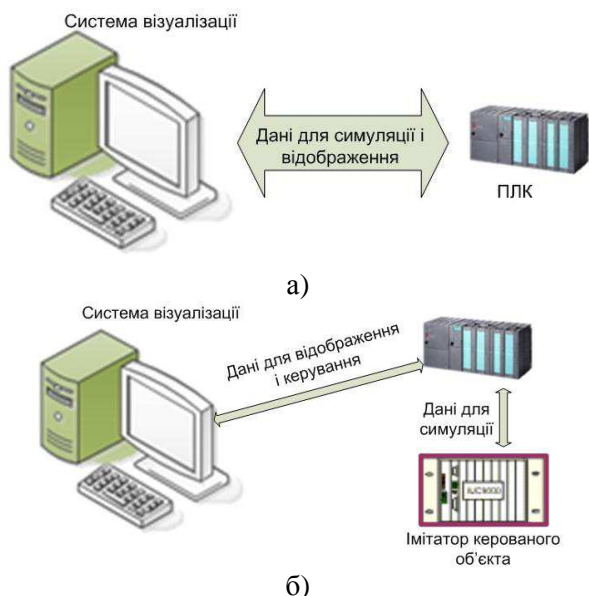


Рисунок 1 – Методи відлагодження АСК ТП

Перший метод [5] ґрунтується на використанні пакетів SCADA та програмних продуктів візуального імітаційного моделювання (рис. 1а). SCADA системи – ідеальний інструмент для

розроблення програмного забезпечення АСК ТП, однак вони не мають можливості повноцінно тестувати ні високоефективні алгоритми управління, що працюють при змінних параметрах технологічного процесу, ні всієї системи у випадку невмілих дій оператора, що призводять до аварійних ситуацій. У цих пакетах немає розвинених засобів створення моделі ТП, оскільки їх метою є відображення і диспетчеризація процесу за вхідними даними і візуалізація процесів у АСК ТП. Реалізація моделей, навіть типових елементів на VB або на рівні DLL-бібліотек, – процес трудомісткий і не універсальний.

Рішення з використанням універсальних пакетів візуального моделювання Simulink (MathWorks) і VisSim 32 (Visual Solution) та інших, які інформаційно пов'язані з SCADA-системами через інтерфейс DDE [6], ефективні для створення тренажерів, але не вирішують всіх завдань повноцінного тестування програмного забезпечення АСК ТП, оскільки з об'єктів тестування виключаються як програми обслуговування пристроїв зв'язку з об'єктом (ПЗО), так і самі ПЗО.

Повноцінні системи відлагодження можна збудувати з використанням сторонніх симуляторів технологічних об'єктів (рис. 1б), де імітатор відображає реальний об'єкт з відповідним відтворенням інформаційних потоків. Часто вони будуються з використанням промислових контролерів та комп'ютерів з набором модулів ПЗО, які саме через своє програмне забезпечення імітують роботу окремого технологічного агрегата чи установки загалом в реальному масштабі. Для простих об'єктів керування (наприклад клапани, помпи, вентиляційні установки тощо) можливе відлагодження системи керування з реальним або фізичними макетами обладнання. Застосування останніх суттєво підвищує достовірність симуляції, тобто ефективність процесу відлагодження системи керування, оскільки симулятор фізично підключений до модулів ПЗО налагоджуваного контролера і дозволяє тестувати як програмне забезпечення, так і апаратні засоби в повному обсязі.

Постановка проблеми. Швидкий науково-технічний прогрес вимагає постійного розвитку та вдосконалення систем автоматичного керування як невід'ємного компонента сучасних технологій. Старі технології заміщуються досконалішими та продуктивнішими, в яких спрощується керування та моніторинг технологічних процесів із залученням «Smart» технологій. Для розуміння різноманітних технологічних процесів доречним є використання імітаційних або спрощених систем відтворення того чи іншого технологічного процесу.

Огляд публікацій на предмет розроблення імітаційних тренажерів для відлагодження систем керування на етапі проектування свідчить, що вони мають будуватись як спеціалізовані зовнішні пристрої, які легко можна підключити до контролера. З іншого боку висуваються до-

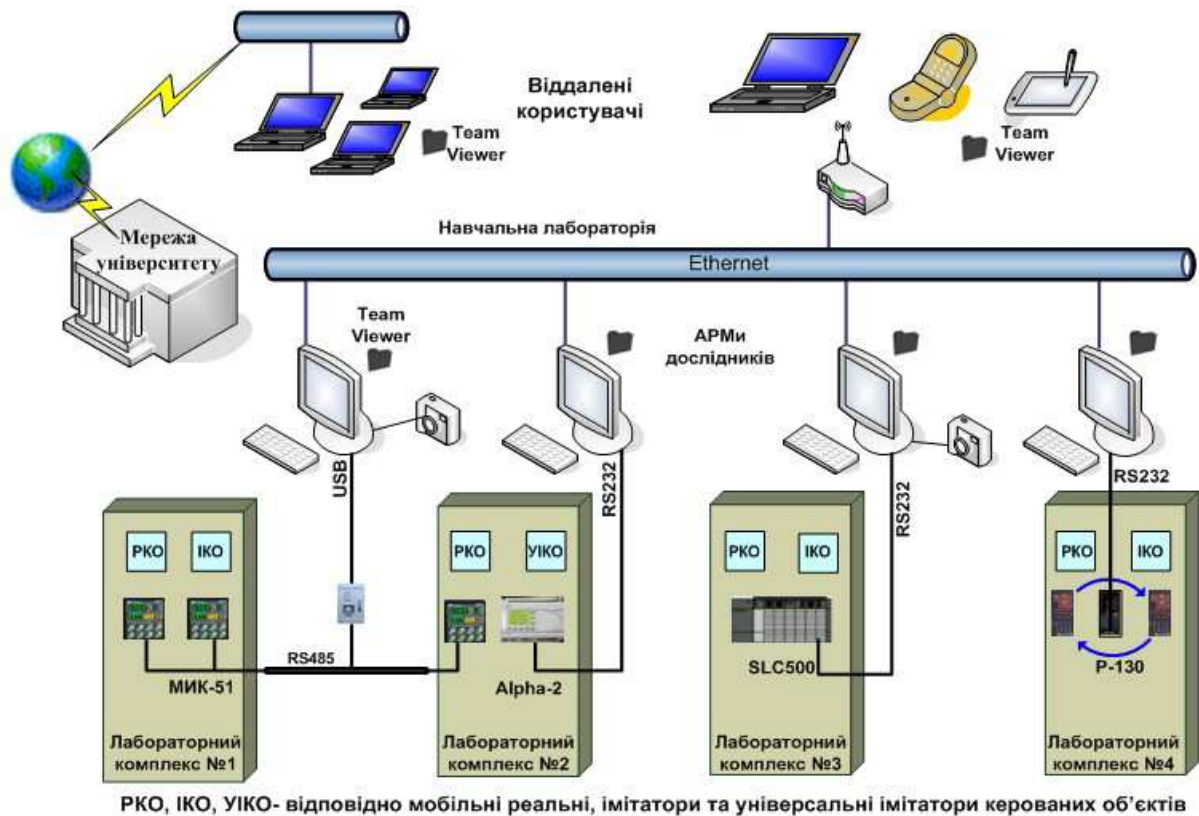


Рисунок 2 – Навчальна лабораторія PLC та програмно-технічних комплексів кафедри АКІТ

даткові вимоги до структури навчальних лабораторій з підготовки фахівців з автоматизації (рис. 2).

Лабораторія має різноманітне обладнання, яке поєднане в єдиній структурі ієрархічної системи керування. Для відлагодження та налаштування контролерного обладнання та проектів у SCADA використовуються мобільні реальні та цифрові імітатори технологічних апаратів та установок. Всі вони мають стандартний інтерфейс підключення до PLC. До лабораторії мають доступ віддалені користувачі.

В межах України не випускаються тренажери-імітатори для підготовки фахівців з автоматизації, а окремими фірмами виробниками для вузлого відлагодження АСК пропонуються прості модулі імітації з наборами перемикачів, аналогових задатчиків та світлодіодних індикаторів, що ускладнює динамічну діагностику системи керування. Рішення, які пропонують для навчальних цілей, закордонні компанії часто є недосяжними через хронічного недофінансування освітньої галузі.

Впровадження інформаційних технологій для вдосконалення навчального процесу, а також налагодження систем керування на стадії проектування, навчання персоналу на виробництві та стадії навчання у вузі є актуальним питанням сьогодення. Використання програмно-апаратних засобів для імітації функціонування технологічних процесів чи обладнання сприяє кращому усвідомленню користувачами особливостей виробничого циклу та методів керування технологічними процесами. Тому виникла необхідність створити портативний

недорогий навчальний імітатор-тренажер для підготовки фахівців з автоматизації. Вирішення проблеми вимагає розв'язання наступних завдань:

- розроблення структури портативного імітатора та підбору апаратної платформи реалізації;
- синтезування універсальних імітаційних моделей типових елементів технологічних процесів.

Мета й завдання дослідження. Розробка структури, алгоритмічних, математичних та програмних засад апаратно-програмного симулятора для підвищення ефективності відлагодження програмно-технічних комплексів та PLC на стадії проектування та впровадження систем управління на їхній основі і підготовки персоналу на об'єкті та в навчальних цілях.

Об'єкт дослідження: мобільні програмно-апаратні симулятори простих технологічних об'єктів.

Предмет дослідження: структура симулятора, імітаційні моделі елементів і вузлів типових базових керованих об'єктів, апаратні мікропроцесорні платформи реалізації імітатора.

Методи дослідження: теорія і методи математичного та імітаційного моделювання, методи схемного і апаратного макетування та конструювання.

Основні результати дослідження. Вагомим фактором при розробленні мобільного цифрового імітатора для навчальних цілей є вартість, яка не повинна зашкодити функціоналу

Таблиця 1 – Технічна характеристика популярних процесорних модулів Ардуіно

Параметр	Типи процесорних плат		
	PRO Mini	UNO	MEGA
Тип процесора AVR	ATMega328	ATMega328	ATmega2560
Робоча напруга	+5В	+5В	+5В
Цифрові входи / виходи (з них ШІМ)	14(6)	14(6)	54(15)
Аналогові входи	8	8	16
Флеш-пам'ять програм	32KB	32KB	256KB
Оперативна пам'ять	2 KB	2 KB	8 KB
Інтерфейси (кількість)	UART, I2C, SPI	UART, I2C, SPI	UART(4), I2C, SPI
Тактова частота	16 Mhz	16 Mhz	16 Mhz
USB адаптер	немає	є	є

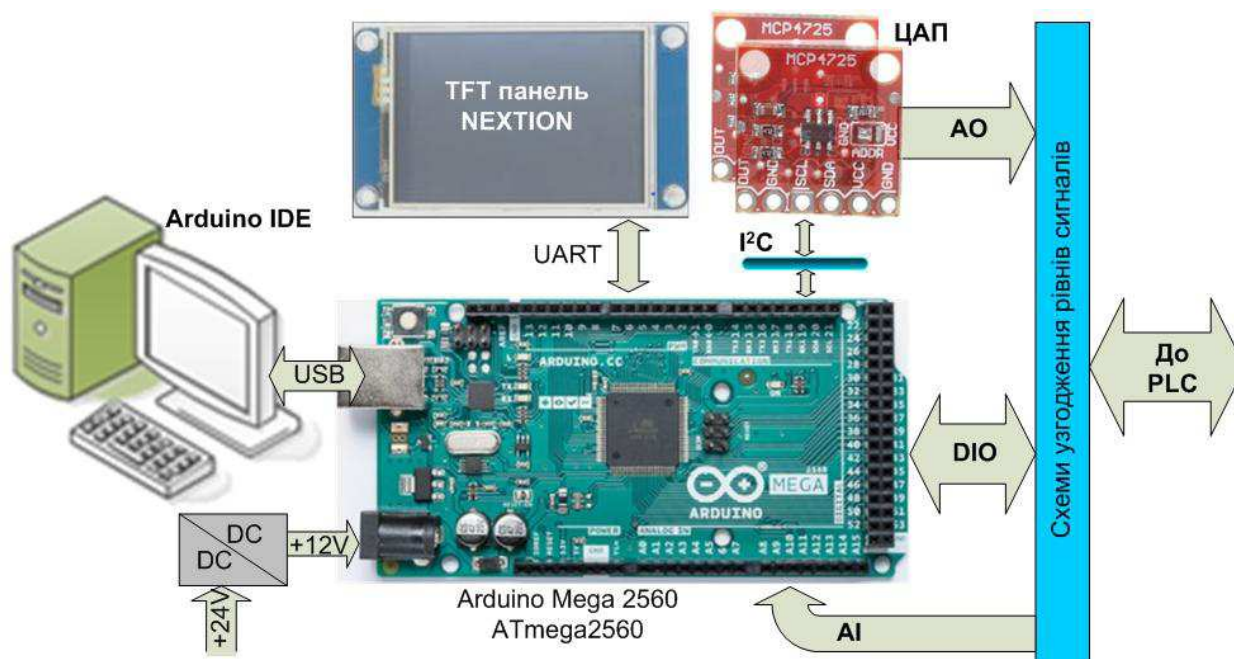


Рисунок 3 - Структура програмно-апаратного симулятора

пристрою. При цьому імітатор має швидко виготовлятися і за необхідності масштабуватися за кількістю входів/виходів та об'ємом програмної пам'яті. Промислові контролери, як імітатори технологічних об'єктів, при середній вартості від 500-2000\$ для 40-50 каналів вводу/виводу, мають певні функціональні обмеження щодо імітаційних алгоритмів і в них практично відсутні засоби візуалізації. Промислові РС-сумісні контролери на комп'ютерній платформі при дещо вищій вартості мають універсальні засоби програмування з підтримкою поширених алгоритмічних мов програмування. Оперативна симуляція технологічних процесів вимагає інструментального комп'ютера або НМІ-панелі.

Таким чином, для зниження вартості імітатора прийнято рішення про проведення аналізу платформ для розробки на базі широко розповсюджених 8- та 32-розрядних мікроконтролерів типу PIC, AVR та STM32. Дані контролери знайшли широке використання серед розробників промислової автоматики та SMART-пристроїв. Перевага віддана за ціновим факто-

ром (5-15\$ китайський виробник), доступністю та широким вибором готових модулів плат розробки на 8- розрядних контролерах AVR, які ідентифіковані за назвою всесвітнього проекту – Ардуіно. Зараз на ринку України доступні процесорні модулі Ардуіно близько десяти найменувань – від мініатюрних PRO Mini до потужної MEGA. Технічна характеристика модулів наведена в табл. 1.

Проект Ардуіно цікавий також тим, що поряд з номенклатурою процесорних розроблено більше сотні модулів різноманітних давачів, перетворювачів, АЦП/ЦАП, пристроїв розширення кількості входів/виходів, силових адаптерів тощо. Все це дозволяє швидко макетувати і розробляти електронні пристрої, в тому числі, тренажери-імітатори.

Структурна схема програмно-апаратного симулятора технологічних процесів для відладки АСК та навчання фахівців з автоматизації представлена на рис. 3. Центральною частиною імітатора є процесорна плата, яку можна підібрати в залежності від рівня інформаційної потужності об'єкта керування (кіль-

кість вхідних і вихідних тегів) та складності алгоритмів симуляції. В разі необхідності число дискретних входів/виходів можна розширити модулями розширення на зсувних регістрах, які підключені до шини I²C або SPI.

Оскільки контролер AVR немає аналогових виходів, то по внутрішньосхемній шині I²C під'єднується необхідна кількість одноканальних модулів ЦАП типу MCP4725. Модуль на базі мікросхеми MCP4725 – це одноканальний 12-бітний цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) з вбудованою EEPROM пам'яттю для зберігання налаштувань. Управління здійснюється по шині I²C.

Важливим елементом тренажера є панель НМІ, яка дає змогу коригувати роботу системи, налаштовувати окремі параметри алгоритмів функціонування, наносити збурення в роботу апарата чи установки і емулювати аварійні ситуації. Все це дозволяє в процесі досліджень та тестування системи керування відпрацьовувати алгоритми базового, розширеного та протиаварійного керування технологічним об'єктом. В результаті проведеного аналізу відібрано для системи візуалізації тренажера панель Nextion з тачскріном та TFT матрицею.

Nextion – це кольоровий дисплей з резистивним сенсорним екраном з власним контролером, керування яким здійснюється по UART. Потужний 32-розрядний процесор дозволяє відображати складні картинки і анімацію, а зручний редактор представляє собою практично повноцінну SCADA систему, за допомогою якої можна в режимі WYSIWYG створювати свої графічні об'єкти. Управління і зворотний зв'язок здійснюється за допомогою інтерфейсу UART. Таким чином, панель підключається всього по 4 проводам (два з них – живлення). Випускаються модифікації дисплеїв з діагоналлю від 2,5" до 7" з резистивним та ємнісним сенсорним екраном. Він під'єднується до комп'ютера через власний USB-конектор. Середовище розробки має всі базові графічні елементи і технології проектування об'єктних вікон оператора SCADA-систем.

Для спряження тренажера з відлагоджуваним контролером передбачені схеми узгодження рівня сигналів пристроїв. Для дискретних та аналогових входів достатньо застосувати резистивні подільники напруги, а дискретні виходи треба узгодити з рівнем +24В через опторозв'язку або збірки транзисторів. Для живлення тренажера використовується понижуючий стабілізатор напруги DC/DC, який конвертує напругу живлення промислової апаратури системи керування до рівня +12В модулів Ардуіно.

Таким чином, апаратна частина симулятора має всі ознаки універсальності, маштабованості та простоти конструкції. При цьому вартість обладнання знаходиться в діапазоні 60-140\$ залежно від типу плати процесора та формату дисплея.

В науковій основі будь-якого сучасного цифрового тренажера лежать математичні моделі, що дозволяють дати повне, або часткове уявлення про параметри і стан реального тех-

нологічного процесу. Користувачам надається можливість з різним ступенем точності моделювати реальні характеристики технологічних вузлів, апаратів з урахуванням їх конструктивних особливостей, а також умов експлуатації. Типове модельне наповнення цифрових тренажерів-імітаторів реалізується з використанням статичних або динамічних математичних моделей реального технологічного процесу.

Програмне забезпечення імітатора визначає його функціональні можливості. Власне програмування контролера здійснюється через інструментальне середовище розробки Arduino IDE. Робоча мова програмування C/C++. Універсальність та відносна простота створення імітаційних моделей досягається шляхом використання розробленої бібліотеки користувача MODEL. В бібліотеці є скетчі функцій для типових вузлів і ділянок виробництва. Поєднання даних функцій у спільному алгоритмі і визначає режим симуляції необхідної технологічної установки. Нижче приведена низка імітаційних моделей типових технологічних ділянок.

Для імітації рівня в залежності від відкриття трьох клапанів на притоці та трьох злив можна використати таку рекурентну залежність:

$$L[(k+1)T] := L[kT] + K_1 \cdot F_{H1} + K_2 \cdot F_{H2} + K_3 \cdot F_{H3} \dots - K_4 \cdot F_{34} - K_5 \cdot F_{35} - K_6 \cdot F_{36} \dots$$

де $L[(k+1)T], L[kT]$ - відповідно значення рівні на наступному та попередньому кроці розрахунку, а T - період квантування;

$K_1 \dots K_6$ - коефіцієнти які визначають умовний діаметр труб наповнення та зливу;

$F_{H1} \dots F_{H3}$ - ступені відкриття регулюючих органів на притоці;

$F_{34} \dots F_{36}$ - ступені відкриття регулюючих органів на зливі.

При використанні двопозиційних виконавчих механізмів (ВМ- закрито, відкрито), попередню залежність можна перетворити до наступного вигляду:

$$L[(k+1)T] := L[kT] + K_1 + K_2 + K_3 - K_4 - K_5 - K_6,$$

де для $K_1 \dots K_6$ справджується наступна рівність

$$K_1 \begin{cases} = 0, \text{ коли ВМ закритий} \\ = const, \text{ коли ВМ відкритий} \end{cases}$$

Значення константи вибирається в залежності від діаметру трубопроводу. Рівень не може перевищувати 100% і бути менше 0%, тому доречно на значення рівня покласти обмеження по мінімуму та максимуму.

Для імітації спрацювання сигналізатора рівня (AL) можна використати плинне значення рівня, порівнявши його з константою (L_{SP}), тобто:

$$AL \begin{cases} = true, L[(k+1)T] \geq L_{SP} \\ = false, L[(k+1)T] < L_{SP}. \end{cases}$$

Значна частина технологічних апаратів володіє самовирівнюванням, зокрема - це більшість теплових об'єктів, ємності під тиском, буферні ємності тощо. Динаміка таких каналів на практиці імітується моделями інерційними ланками першого та другого порядку. Дискретна передавальна функція ланки першого порядку

$$[7] \text{ має вигляд } W(z) = \frac{c}{z-d}, \text{ де}$$

$c = k_0 - k_0 \cdot e^{-\frac{T}{T_1}}, d = e^{-\frac{T}{T_1}}; k_0, T_1$ – параметри інерційної ланки. Тоді рекурентний імітаційний алгоритм набуде вигляду

$$y[(k+1)T] = d \cdot y[(k)T] + c \cdot u[(k)T],$$

$$k = 0, 1, 2, \dots,$$

де y та u – відповідно вихід та вхід моделі.

Якщо розглядаємо об'єкта 1-го порядку із запізненням, тоді

$$W(z) = \frac{c}{z-d} \cdot \frac{1}{z^{m_1}} \text{ або } W(z) = \frac{c}{z^{m_1+1} - d \cdot z^{m_1}},$$

а

$$y[(k+m_1+1)T] = d \cdot y[(k+m_1)T] + c \cdot u[(k)T],$$

$$k = 0, 1, 2, \dots,$$

де $m_1 = \frac{\tau}{T}$, а τ – запізнення в каналі регулювання.

Такий сценарій імітації характерний для теплових об'єктів та апаратів з великим об'ємом. Регульованими координатами можуть бути температура, рівень або тиск. Для точнішої симуляції динаміки складних інерційних процесів у технологічному обладнанні застосовують також інерційні ланки другого порядку. Для об'єкта 2-го порядку характерна дискретна передавальна функція

$$W(z) = \frac{b_0 \cdot z + b_1}{z^2 + a_1 z + a_2},$$

де

$$b_0 = \frac{k_0}{T_1 - T_2} \cdot \left[(T_1 - T_2) - T_1 \cdot e^{-\frac{T}{T_1}} + T_2 \cdot e^{-\frac{T}{T_2}} \right];$$

$$b_1 = \frac{k_0}{T_1 - T_2} \cdot \left[T_2 \cdot e^{-\frac{T}{T_1}} - T_1 \cdot e^{-\frac{T}{T_2}} + (T_1 - T_2) \cdot e^{-\frac{T}{T_1}} \cdot e^{-\frac{T}{T_2}} \right];$$

$$a_0 = 1; a_1 = - \left[e^{-\frac{T}{T_1}} + e^{-\frac{T}{T_2}} \right]; a_2 = e^{-\frac{T}{T_1}} \cdot e^{-\frac{T}{T_2}};$$

k_0, T_1, T_2 – параметри інерційної ланки.

Тоді рекурентне рівняння імітаційної моделі має вигляд:

$$y[(k+2)T] = -a_1 \cdot y[(k+1)T] - a_2 \cdot y[kT] +$$

$$b_0 \cdot u[(k+1)T] - b_1 \cdot u[kT],$$

$$k = 0, 1, 2, \dots$$

Розрахунок кроку квантування доцільно провести за формулами, які отримані, виходячи з точності відтворення характеристик:

$$\text{для ланки другого порядку } T \approx \sqrt{\frac{T_1 \cdot T_2}{10 \cdot k_0}};$$

$$\text{для ланки першого порядку } T \approx \frac{0,25 \cdot T_1}{k_0}.$$

Бібліотека імітаційних моделей MODEL постійно доповнюється новими функціями, які симулюють роботу як технологічних апаратів, так і окремих видів засобів автоматизації (наприклад, імпульсний витратомір, автоматизована засувка з електродвигунним приводом тощо). Параметри імітаційних моделей, які підлягають корекції, рівень збурюючих чинників та команди формування аварійних ситуацій задаються з панелі НМІ в процесі симуляції або при налаштуванні алгоритмів тестування.

Висновки

В роботі вирішена важлива науково-практична задача – створення мобільного тренажера-імітатора на базі запропонованої мікроконтролерної апаратно-програмної платформи та синтезованих алгоритмів симуляції для відлагодження та тестування АСК ТП і PLC на етапі проектування і в навчальних цілях.

Проведено аналіз існуючих методів створення тренажерів-імітаторів для тестування апаратної та програмної частини систем керування, внаслідок чого розроблено нову структуру мобільного симулятора на апаратній платформі контролера AVR та НМІ панелі Nextion, що дозволило розширити функціонал емулятора, проводити масштабування пристрою та суттєво знизити вартість розробки та виготовлення. Розроблено імітаційні моделі типових керованих об'єктів, які структурно у вигляді СІ-функцій увійшли до створеної бібліотеки банку моделей MODEL інтегрованої в середовище розробки Arduino IDE, що суттєво спрощує синтез процедур симуляції при налагодженні обладнання.

Розроблений тренажер є хорошим інструментом для відлагодження та повноцінного тестування контролерів та загалом АСК ТП, шляхом формування інформаційних потоків відгуку керованого об'єкта симульованого з певним ступенем достовірності, на стадії проектування та навчання персоналу.

Література

- 1 Bainbridge L. Ironies of Automation // Automatica. – 1983. – Vol. 19. – №. 6.
- 2 Dozortsev V.M., Kneller D.V. and Shestakov N.V. A Simulation Complex for Instrument Specialist Training // Proc. XVI IMEKO World Congress. – Vienna, 2000. – Vol. II.

3 Real-time Process Optimization and Training Outlook. Five Year Market Analysis and Technology Forecast through 2013 – ARC Advisory Group. – 2009.

4 Громов В.С. Современные методы отладки и диагностирования комплексов АСУ ТП. / Громов В.С., Вишнепольский Р.Н., Тимофеев В.Н. // Журнал сетевых решений LAN-03. – 2003.

5 Комплекс для разработки и отладки проектов АСУ ТП/ А. Маслов, А. Висков // Современные технологии автоматизации-3. – 2001. – С. 68-76.

6 Ахметсафин Р. Разработка тренажеров и отладка проектов АСУ ТП на базе пакетов MMI/SCADA / Ахметсафин Р., Ахметсафина Р., Курсов Ю. // Современные технологии автоматизации. – 1998. – № 3. – С. 38–41.

7 Горбійчук М.І. Математичне моделювання на ЕОМ технологічних об'єктів: навчальний посібник. – Івано-Франківськ: Факел, 2001. – 239 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії

03.05.18

*Рекомендована до друку
професором **Горбійчуком М.І.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
канд. техн. наук **Воцинським В.С.**
(ТЗОВ СКБ ЗА, м. Івано-Франківськ)*