

---

---

## ПРИНЦИПОВІ КОНЦЕПЦІЇ ТА СТРУКТУРУВАННЯ РІЗНИХ РІВНІВ ОСВІТИ З ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

---

---

УДК 378 + 681.324

В.М. ПАПІНОВ, Я.А. КУЛИК

### БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА ЛАБОРАТОРІЯ ДЛЯ НАСКРІЗНОЇ ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 151

*Вінницький національний технічний університет  
21021, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна*

**Анотація.** У статті обґрунтовано доцільність організації лабораторного практикуму для студентів спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" на базі багатофункціональної комп'ютеризованої лабораторії, програмно-технічні засоби якої утворюють повномасштабну комп'ютерно-інтегровану систему управління виробництвом.

**Ключові слова:** лабораторний практикум, комп'ютеризована лабораторія, автоматизація, комп'ютерно-інтегрована технологія, система управління виробництвом

**Аннотация.** В статье обоснована целесообразность организации лабораторного практикума для студентов специальности 151 "Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии" на базе многофункциональной компьютеризированной лаборатории, программно-технические средства которой образуют полномасштабную компьютерно-интегрированную систему управления производством.

**Ключевые слова:** лабораторный практикум, компьютеризированная лаборатория, автоматизация, компьютерно-интегрированная технология, система управления производством

**Abstract.** In the article for students of specialty 151 "Automation and computer-integration technologies" is substantiated a reasonability of a laboratory practice organization on a base of multifunctional computerized lab, which soft hardware form a full scale MES.

**Keywords:** laboratory practice, computerized lab, automation, computer-integration technology, manufactory execution system (MES)

DOI: 10.31649/1681-7893-2018-36-2-94-110

#### ВСТУП

Підготовка бакалаврів та магістрів спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" є складним і напруженим процесом, зміст якого відповідає діючим стандартам вищої освіти [1,2]. Підготовлені фахівці, згідно до вимог цих стандартів, повинні вміти планувати й здійснювати всі етапи життєвого циклу систем автоматизації, починаючи з виявлення суспільних потреб, продовжуючи проектуванням, впровадженням (реалізацією), експлуатацією і закінчуючи виведенням систем з експлуатації та їх утилізацією. У результаті їм доводиться постійно вирішувати багатокритеріальні задачі прийняття та реалізації проектних і управлінських рішень при неповній і не завжди достовірній вхідній інформації.

У зв'язку з цим при професійній підготовці фахівців даної спеціальності крім професійно-функціональних знань та вмінь особливого значення набувають професійно-практичні складові навчання, тобто вироблення та закріплення стійких умінь та навичок, пов'язаних із професійною діяльністю в області систем автоматизації за умови швидкого розвитку їх комп'ютерно-інтегрованих та комунікаційних технологій.

Зазвичай одним із визначальних факторів навчального процесу, що сприяє ефективному формуванню стійких професійно-практичних умінь та навичок, є лабораторний практикум [3], проблематика організації та проведення якого у системі вищої технічної освіти вже тривалий час активно обговорюється в науково-педагогічних колах [4-8]. Така постійна увага пояснюється тим, що сучасний стрімкий розвиток і ускладнення зразків техніки й технологій, які в лабораторному практикумі є об'єктами практичного вивчення, примушують вищі технічні навчальні заклади постійно шукати нові форми його організації і вдосконалювати методики його проведення, щоб забезпечувати високу якість професійно-практичної підготовки фахівців технічних спеціальностей.

#### **АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ВИЯВЛЕННЯ ПРОБЛЕМИ**

Впровадження оптимальних форм організації лабораторного практикуму та ефективних методик його проведення набувають особливого значення у професійно-практичній підготовці фахівців спеціальності 151, коли об'єктами практичного вивчення є сучасні програмно-технічні комплекси і технології автоматизації, а також методи та інструментальні засоби проектування й реалізації на їх основі різних за архітектурою, масштабом та призначенням систем автоматизації. Всі вказані об'єкти практичного вивчення характеризуються великим різноманіттям, значною вартістю та високою швидкістю появи нових та вдосконалення існуючих зразків.

В [4] запропонована класифікація типів лабораторних практикумів для закладів вищої технічної освіти. Аналіз літературних джерел доводить, що на даний момент при підготовці фахівців спеціальності 151 найчастіше використовується «традиційний» тип практикуму, який передбачає створення низки навчальних лабораторій з встановленими в них дорогими вузькоспеціалізованими стендами [9-12]. В таких лабораторіях зазвичай вивчаються окремі зразки програмно-технічних комплексів та технологій автоматизації, а також методи та засоби проектування та реалізація деяких систем автоматизації обмеженого масштабу та призначення. Такий тип лабораторного практикуму при великій вартості своєї реалізації носить несистемний, фрагментарний характер і тому не дає можливості студентам отримати цілісні професійно-практичні знання, уміння та навички з проектування, реалізації, налагодження та експлуатації різноманітних за архітектурою, масштабом та призначенням систем автоматизації. Крім того, підтримка чи модернізація існуючих вузькоспеціалізованих стендів, або створення нових, вимагають від навчального закладу значних додаткових витрат часу та коштів.

Для підготовки фахівців певних технічних спеціальностей окремі вузи зараз активно використовують «віртуальний» тип лабораторного практикуму, який будується на основі програмних або програмно-натурних моделей об'єктів практичного вивчення [4-7]. Таке рішення забезпечує суттєве зменшення витрат часу та коштів на реалізацію лабораторної бази, майже необмежений перелік тематик лабораторних досліджень, можливість відтворювати такі режими роботи об'єктів вивчення, які неприпустимі для їх натурних зразків. Проте для спеціальності 151 такий тип лабораторного практикуму не дає можливості студентам набувати практичного досвіду роботи з реальними зразками програмно-технічних комплексів автоматизації, а також виконувати навчально-практичні завдання зі створення на їх основі автоматизованих систем різного масштабу – від локальних до повномасштабних розподілених, наприклад, на основі «хмарних» сервісів промислового Інтернету речей.

«Ідеальний» тип лабораторного практикуму, згідно до [4], означає, що для засвоєння навчального матеріалу кожен об'єкт вивчення в межах певної професійно-орієнтованої чи спеціальної навчальної дисципліни в обов'язковому порядку повинен забезпечуватися усіма необхідними компонентами практичного, модельного та експериментального вивчення. Такий тип лабораторного практикуму є дуже дорогим при реалізації і тому на даний момент не застосовується у вищих технічних навчальних закладах.

Проте, провідні компанії в області промислової автоматизації, що планують розширити області застосування своєї продукції та новітніх технологій, з метою ефективної підготовки або перепідготовки фахівців відповідних спеціальностей нещодавно стали активно використовувати тренувальні «навчальні фабрики» ("Learning Factory"), які максимально зближують наукові розробки компаній, їх новітнє навчальне обладнання й реальне виробництво [13,14]. Фактично ці «навчальні фабрики» являють собою «розумні» підприємства, побудовані за абсолютно новими принципами. Вони модульні, легко адаптуються до змін, усі виробничі модулі спілкуються між собою по мережних протоколах, дані зберігаються в "хмарі", до цього виробництва підключаються MES та ERP системи. Насиченість таких «навчальних фабрик» новітніми зразками програмно-технічних комплексів та технологій автоматизації, необмеженість масштабів та призначень створюваних в них систем автоматизації, роблять їх «ідеальним» типом побудови лабораторного практикуму для практичної підготовки фахівців спеціальності 151. Поступове нарощування в процесі навчання складності практичних завдань та масштабів об'єктів вивчення дозволяють формувати у майбутніх фахівців цілісні професійні знання та

стійкі практичні навички в області автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій. На жаль, реалізація такого практикуму на сьогодні є занадто дорогою справою, тому пройде ще багато часу, поки студенти українських вузів зможуть навчатися таким чином.

Підводячи підсумок зробленого огляду сучасного стану форм організації та методик проведення лабораторного практикуму для студентів спеціальності 151, можна констатувати, що дотепер у закладах вищої технічної освіти не знайдений такий його тип, який би дозволяв ефективно формувати у майбутніх фахівців цілісні професійні знання, практичні уміння та навички планування та здійснення усіх основних етапів життєвого циклу різних за масштабом та призначенням систем автоматизації.

#### **МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Метою досліджень є пошук такої нової форми організації лабораторного практикуму, який би дозволяв студентам спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" на базовому рівні ефективно набувати цілісних і стійких професійно-практичних знань, умінь та навичок у плануванні та здійсненні основних етапів життєвого циклу автоматизованих систем різного призначення та масштабу, а також давав можливість навчальному закладу просто й дешево виконувати його модернізацію чи адаптацію до неодмінних подальших вдосконалень програмно-технічних засобів та технологій автоматизації.

Для досягнення поставленої мети дослідження треба розв'язати такі основні задачі:

- Формування загальної концепції та основних принципів організації та побудови лабораторного практикуму.
- Пошук оптимальних з навчально-методичної та економічної точок зору шляхів реалізації у вузі сформованої концепції та основних принципів лабораторного практикуму.
- Розробка для лабораторного практикуму такої структурно-логічної схеми поетапної професійно-практичної підготовки студентів, яка б об'єднувала навчальні процеси основних професійно-орієнтованих та спеціальних дисциплін бакалаврського та магістерського напрямів підготовки.
- Визначення для лабораторного практикуму базових варіантів об'єктів практичного вивчення для кожного етапу професійно-практичної підготовки студентів.

#### **АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ**

Як зазначалось вище, з навчально-методичної точки зору "ідеальний" тип лабораторного практикуму для професійно-практичної підготовки студентів спеціальності 151 може бути організований лише в рамках "навчальної фабрики", яка об'єднує в єдине ціле реальне виробництво, новітні технології автоматизації та модульне навчальне обладнання. Проте, виходячи з економічних умов, реалізувати такий тип практикуму на провідних вітчизняних підприємствах, а тим більше, у вищих навчальних закладах, на даний момент неможливо. Тому пропонується шляхом використання основних ідей "навчальної фабрики" вдосконалити "традиційний" тип лабораторного практикуму, поширений у закладах вищої технічної освіти, і, завдяки цьому, створити проміжний тип лабораторного практикуму, більш наближений до "ідеального" типу. В такому лабораторному практикумі повинні відтворюватися всі основні умови "навчальної фабрики", де присутні реальні програмно-технічні комплекси та новітні технології автоматизації, проте технологічні та виробничі процеси, реально існуючі у "навчальній фабриці", в лабораторному практикумі можуть бути реалізованими "традиційним" способом – у лабораторних стендах.

Для професійно-практичної підготовки студентів спеціальності 151 новий тип лабораторного практикуму можна організувати в одній багатофункціональній комп'ютеризованій лабораторії, наприклад, у вигляді "лабораторної імітації навчальної фабрики". На його основі, як і на "навчальній фабриці", на протязі всього терміну навчання студентів можна шляхом нарощування складності практичних завдань та масштабів об'єктів вивчення поступово формувати у майбутніх фахівців цілісні професійно-практичні знання, уміння та навички планування та здійснення майже всіх етапів життєвого циклу систем автоматизації – виявлення суспільних потреб, проектування, впровадження (реалізація), експлуатація.

В залежності від ступеня наповнення лабораторії зразками сучасних програмно-технічних комплексів та технологій автоматизації можна забезпечити одним лабораторним практикумом майже всі професійно-орієнтовані та спеціальні дисципліни бакалаврського та магістерського напрямів підготовки – від практичного вивчення окремих складових частин систем автоматизації (технічні засоби автоматизації, промислові контролери, операторські станції, сервери, польові та корпоративні мережі і т.п.) до побудованих на їх основі систем автоматизації різного масштабу та призначення (SCADA, MES, MRP), реалізованих, в тому числі, і на "хмарних" сервісах промислового Інтернету речей.

Все сказане стосується загальної концепції організації нового лабораторного практикуму. В рамках цієї концепції можна виділити такі основні принципи його побудови:

- багатофункціональність;
- організаційна, функціональна та навчально-методична структурованість;
- архітектурна гнучкість;
- масштабованість;
- модульне виконання;
- стандартизація та уніфікація інтерфейсів;
- моделювання технічних, технологічних та виробничих процесів;
- використання тільки реальних зразків програмно-технічних засобів автоматизації та новітніх комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Більшість перелічених принципів побудови нового лабораторного практикуму співпадає з тими, на яких будується "навчальна фабрика" як "ідеальний" його тип.

**Багатофункціональність** є обов'язковою умовою для забезпечення наскрізної професійно-практичної підготовки студентів, коли, починаючи з вивчення окремих елементів систем автоматизації, студенти переходять до поетапної побудови на їх основі все більш складних систем автоматизації, використовуючи результати навчальних завдань попередніх етапів як основу виконання кожного наступного етапу. При необхідності, застосовуючи набуті знання та досвід, студенти можуть також змінювати або доповнювати попередні результати для їх вбудовування у більш складну систему автоматизації. Наприклад, може виникнути необхідність дописати програму контролера, що була раніше створена для роботи в складі SCADA системи, з метою налагодження її роботи в складі MES системи. Крім того, багатофункціональність лабораторного практикуму дозволить забезпечити ним більшу кількість професійно-орієнтованих та спеціальних дисциплін, що, без сумніву, сприятиме формуванню у студентів спеціальності цілісних професійно-функціональних знань та стійких професійних навичок.

**Організаційна та функціональна структурованість** лабораторії, в якій організований лабораторний практикум, означає чітке виділення в ній окремих зон встановлення лабораторних об'єктів, які відтворюють роботу тієї чи іншої структурної частини "навчальної фабрики", наприклад, зони оперативного-диспетчерського управління технічними та технологічними процесами, зони адміністративно-господарського управління виробництвом, зони управління підприємством. Це дозволяє студентам легше сприймати структуру та принцип дії "навчальної фабрики", робота якої імітується даним типом лабораторного практикуму.

**Навчально-методична структурованість** означає виділення в лабораторії таких цілісних лабораторних об'єктів, які, виходячи з навчально-методичної точки зору, потребують окремого практичного вивчення студентами спеціальності, або з яких студенти зможуть збирати різні за масштабом та призначенням системи автоматизації. Наприклад, модель технологічного об'єкту, на якій встановлені усі необхідні засоби автоматизації, може бути об'єктом окремого лабораторного дослідження в рамках деяких навчальних дисциплін (статичні та динамічні властивості об'єкта, його ідентифікація, принцип дії та характеристики засобів автоматизації і т.п.), а також може використовуватися в рамках інших навчальних дисциплін для побудови системи автоматизації того чи іншого масштабу та призначення.

**Архітектурна гнучкість** передбачає використання в лабораторному практикумі такого набору лабораторних об'єктів, програмно-технічних засобів та комп'ютерно-інтегрованих технологій, який дозволяє студентам збирати системи автоматизації різної архітектури, наприклад, розподілені системи або з локальним сервером, або з "туманним" сервером, або з "хмарним" сервером).

**Масштабованість** лабораторного практикуму означає можливість за рахунок використання відповідних програмно-технічних засобів і технологій автоматизації нарощувати масштаб систем автоматизації, які студенти поетапно вивчають в рамках низки професійних та спеціальних дисциплін. Завдяки цьому в рамках лабораторного практикуму можна, наприклад, від дослідження локальної системи автоматизації на основі промислового контролера перейти до вивчення SCADA системи з цим контролером, а потім включити SCADA систему до складу MES системи, яку на останніх етапах вивчення можна об'єднати з MRP системою, що реалізована на "хмарних" сервісах Інтернету речей.

**Модульне** виконання лабораторних об'єктів (основний принцип організації "навчальної фабрики") дає можливість, на зразок дитячого конструктора, швидко збирати з них більш складні об'єкти практичного вивчення, а також в подальшому спрощувати для вузу такі обов'язкові процеси, як модернізація лабораторного практикуму, розширення його функціональних можливостей чи його адаптація до змін програмно-технічних засобів та технологій автоматизації.

**Стандартизація та уніфікація** є обов'язковими принципами побудови будь-яких сучасних систем автоматизації, тому лабораторний практикум, який призначений для практичного вивчення таких систем, будується також на основі цих принципів – застосування уніфікованих фізичних сигналів, стандартних сигнальних та інформаційних інтерфейсів, стандартних архітектурних рішень систем автоматизації, стандартних комп'ютерно-інтегрованих технологій і т.п.).

**Моделювання** технічних, технологічних та виробничих процесів відрізняє цей тип лабораторного практикуму від "навчальної фабрики", де ці процеси реально існують. Проте широке застосування моделей різної природи та ступеня абстрагування (фізичних, аналогічних, імітаційних, програмних, гібридних) дає можливість суттєво зменшити витрати вузу на реалізацію даного типу лабораторного практикуму, а також дає значно спростує реалізацію таких основних принципів його організації, як багатофункціональність, архітектурна гнучкість та масштабованість, які вже були детально розглянуті вище.

Використання тільки **реальних зразків програмно-технічних засобів автоматизації та новітніх комп'ютерно-інтегрованих технологій** дозволяє покращити ефективність професійно-практичної підготовки студентів та забезпечити формування у майбутніх фахівців міцних базових професійно-функціональних знань та стійких професійно-практичних умінь.

Як зазначалось вище, організаційна та функціональна структурованість лабораторного практикуму визначається, в першу чергу, структурою "навчальної фабрики", робота якої підлягає імітації (рис. 1). В нашому випадку «навчальна фабрика» складається з центрального офісу (заводу управління) та виробничих цехів. Цех №1 займає дві будівлі. В середині будівлі 1 цього цеху розміщуються три виробничі ділянки (№1-№3), автоматизований склад та прохідна, а в будівлі 2 – виробнича ділянка №4.

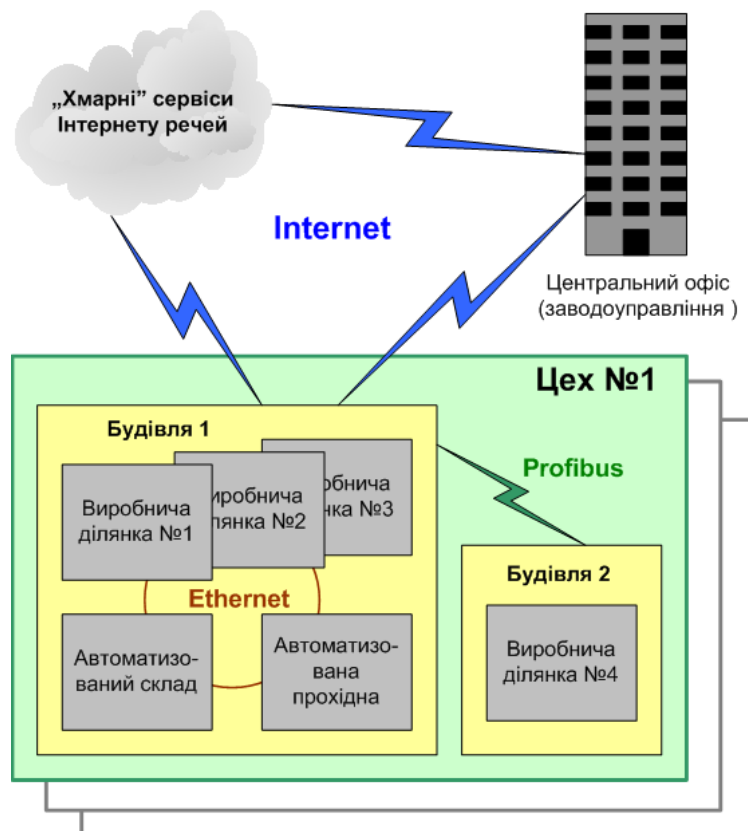


Рис. 1. Структура «навчальної фабрики», яка імітується в лабораторному практикумі

Комп'ютерно-інтегроване управління «навчальною фабрикою» має здійснюватися шляхом вільного обміну цифровою інформацією між автоматизованими системами управління (АСУ) різного рівня. Для обміну інформацією використовуються такі комунікаційні середовища:

- Internet (для обміну інформацією між АСУ фабрикою, "хмарними" сервісами Інтернету речей і АСУ цехового рівня);

- Ethernet (для обміну інформацією між АСУ цехового рівня);
- Profibus (польова промислова мережа цехового рівня для обміну інформацією всередині АСУ технологічними процесами, АСУТП).














Лабораторні об'єкти							
Базове комп'ютерне обладнання		Базове мікропроцесорне обладнання		Складні моделі	Моделі середньої складності	Прості моделі	
„Виробнича ділянка №1”	 ПК №1, 2	 Промислові контролери та ПЛК, панелі оператора	Стандартні інформаційні інтерфейси	Стандартні сигнальні інтерфейси	Фізична модель технологічного об'єкта №1 (стенд)	Спеціалізовані настільні стенди-імітатори	Додаткові функціональні стенди (пульти управління, клавіатури і т.д.)
„Виробнича ділянка №2”	 ПК №3, 4	 Промислові контролери та ПЛК, панелі оператора			Фізична модель технологічного об'єкта №2 (стенд)	Спеціалізовані настільні стенди-імітатори	Додаткові функціональні стенди (пульти управління, клавіатури і т.д.)
„Автоматизований склад”	 ПК №5, 6	 Промислові контролери та ПЛК, панелі оператора			Фізична модель технічного об'єкта №3 (стенд)	Спеціалізовані настільні стенди-імітатори	Додаткові функціональні стенди (пульти управління, клавіатури і т.д.)
„Автоматизована прохідна”	 ПК №7, 8	 Промислові контролери та ПЛК, панелі оператора			Фізична модель технічного об'єкта №4 (стенд)	Спеціалізовані настільні стенди-імітатори	Додаткові функціональні стенди (пульти управління, клавіатури і т.д.)
„Виробнича ділянка №3”	 ПК №9	 Промисловий контролер, панель оператора			Електро-механічна модель технічного об'єкта №5 (стенд)	Спеціалізовані настільні стенди-імітатори	Додаткові функціональні стенди (пульти управління, клавіатури і т.д.)
„Виробнича ділянка №4”	 ПК №10	 Промисловий контролер, панель оператора			Електро-механічна модель технічного об'єкта №6 (стенд)	Спеціалізовані настільні стенди-імітатори	Додаткові функціональні пристрої (пульти управління, клавіатури і т.д.)
АРМ начальника цеху, сервер	 ПК №11						

Рис. 2. Лабораторні об'єкти для імітації роботи "навчальної фабрики"

Згідно до принципу навчально-методичного структурування був запропонований оптимальний з навчально-методичної точки зору перелік лабораторних об'єктів, який дозволяє не тільки повністю зімітувати усі складові частини описаної структури "навчальної фабрики", але і забезпечує потрібну багатофункціональність лабораторного практикуму для його використання в рамках основних професійно-орієнтованих та спеціальних дисциплін (рис. 2).

Лабораторні об'єкти поділяються на такі групи: базове комп'ютерне обладнання (персональні комп'ютери, мережеві комутатори і т.п.), базове мікропроцесорне обладнання (PC-сумісні промислові контролери, програмовані логічні контролери, панелі оператора, перетворювачі сигналів, блоки живлення і т.д.), складні моделі різних технологічних та технічних об'єктів (стенди у вигляді фізичних або електромеханічних моделей), моделі середньої складності різних технологічних та технічних об'єктів (спеціалізовані настільні стенди-імітатори), прості моделі локальних пультів управління технологічними та технічними об'єктами, клавіатур і т.д. (стенди-імітатори). Базове комп'ютерне обладнання та базове мікропроцесорне обладнання обмінюються даними через стандартні інформаційні інтерфейси (корпоративна мережа, польова промислова мережа). Стенди (лабораторні модулі), що являють собою моделі технічних або технологічних об'єктів, взаємодіють з базовим мікропроцесорним обладнанням та між собою через стандартні сигнальні інтерфейси.

Складні моделі технічних та технологічних процесів призначені для імітації роботи основних виробничих об'єктів "навчальної фабрики": промислового накопичувача рідини (фізична модель №1), промислового хімічного реактора (фізична модель №2), промислового складу (фізична модель №3), турнікету автоматизованої прохідної (фізична модель №4), виробничої лінії з конвеєром (електромеханічна модель №5), верстату з числовим програмним управлінням (електромеханічна модель №6).

Моделі середньої складності, що виконуються у вигляді настільних спеціалізованих стендів-імітаторів (рис. 3), призначені або для відтворення роботи інших виробничих об'єктів "навчальної фабрики" (виробнича лінія з промисловим роботом, виробнича лінія з нагрівальними камерами, автоматичний свердлильний верстат, електричний виконавчий пристрій і т.п.), або для імітації роботи тих об'єктів управління, автоматизація яких вивчається в рамках окремих професійних та спеціальних дисциплін (управління дорожнім рухом на перехресті, охоронна сигналізація котеджу і т.п.).

Усі лабораторні об'єкти в приміщенні лабораторії згруповані таким чином, що кожна група забезпечує імітацію роботи окремої структурної частини «навчальної фабрики» – виробничих ділянок №1 - №4, автоматизованого складу та автоматизованої прохідної. Усі групи об'єктів змонтовані в лабораторії за однаковим принципом (рис. 4).

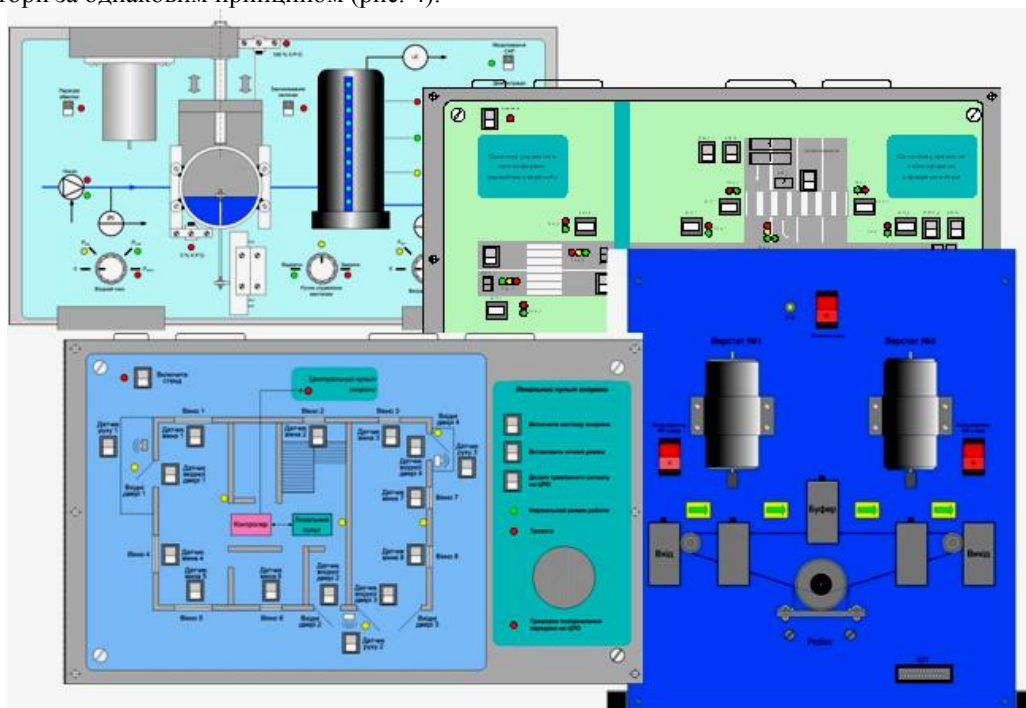


Рис. 3. Приклади виконання настільних спеціалізованих стендів-імітаторів

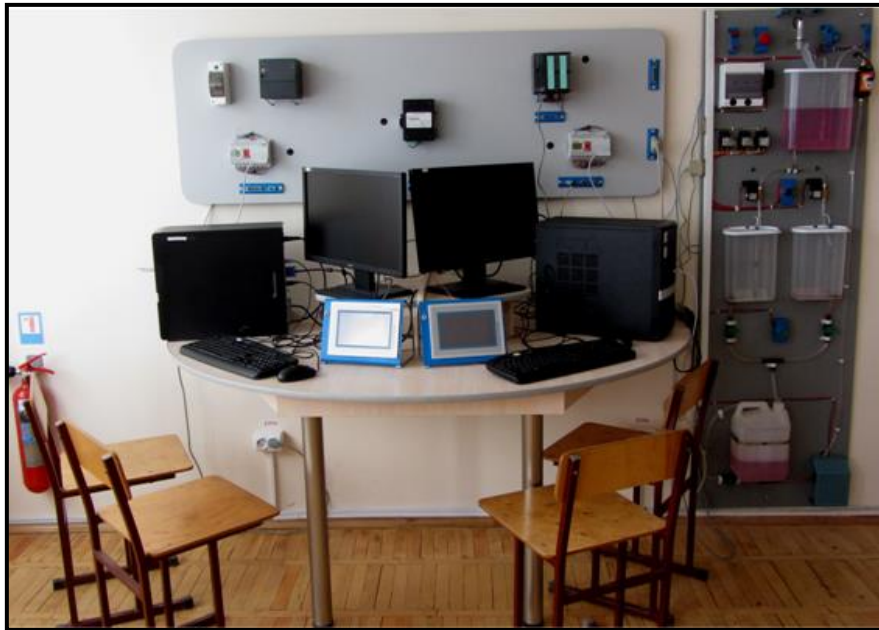


Рис.4. Група лабораторних об'єктів, що імітує роботу виробничої ділянки №1 «навчальної фабрики»

Лабораторні об'єкти змонтовані:

- на дерев'яній настінній панелі;
- на горизонтальних поверхнях лабораторного столу;
- на вертикальній боковій металевій панелі (стенд з фізичною моделлю технологічного процесу).

На дерев'яній настінній панелі змонтовані: автоматичний вимикач загального живлення, блок живлення 24 VDC на основі модуля живлення "VIPA", PC-сумісний промисловий контролер "VIPA 313-5BF13", два програмованих реле "Relpro1" (ПЛК) та некерований комутатор Ethernet "HUE-500". Усе це обладнання та настінна панель утворюють єдиний лабораторний модуль.

На горизонтальній поверхні лабораторного столу встановлюються два персональних комп'ютери студентських бригад (ПК), панелі оператора та настільні спеціалізовані лабораторні стенди-імітатори. Настільні стенди-імітатори мають модульне виконання.

Електричні з'єднання мікропроцесорних пристроїв, що змонтовані на настінній панелі, з пристроями фізичної моделі та настільними стендами-імітаторами, що встановлені на горизонтальній поверхні лабораторного столу, здійснюється через кабелі та стандартні електричні з'єднувачі.

За допомогою такої групи лабораторних об'єктів студенти в рамках різних професійно-орієнтованих та спеціальних дисциплін можуть проводити різні лабораторні дослідження:

- дослідження принципу дії та характеристик промислових датчиків та виконавчих пристроїв, змонтованих на фізичній моделі технологічного процесу;
- налаштування та програмування промислового контролера "VIPA 313-5BF13" для введення сигналів датчиків, встановлених на фізичній моделі технологічного об'єкту;
- налаштування та програмування промислового контролера "VIPA 313-5BF13" для виведення сигналів управління на виконавчі пристрої, встановлені на фізичній моделі технологічного об'єкту;
- налаштування та програмування промислового контролера "VIPA 313-5BF13" для рішення задачі локального автоматичного управління фізичною моделлю технологічного об'єкту;
- налаштування та програмування промислового контролера "VIPA 313-5BF13" для рішення задачі автоматизованого управління фізичною моделлю технологічного об'єкту;
- розробка програмного забезпечення автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора системи управління, реалізованого або на панелі оператора, або на ПК.



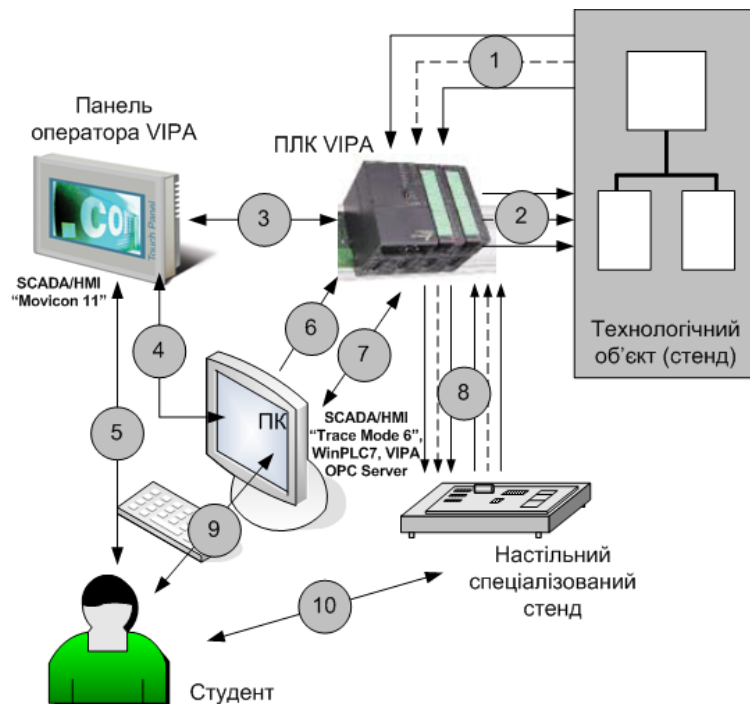


Рис.5. Схема можливих взаємодій всередині групи лабораторних об'єктів, що імітують виробничу ділянку №1 «навчальної фабрики»

Виконання вказаних лабораторних завдань передбачає здійснення різноманітних взаємодій як між студентом та лабораторними об'єктами, так і між самими лабораторними об'єктами (рис. 5). Як видно з рисунку, в панелі оператора встановлена виконавча система SCADA/НМІ "Movicon 11", а в ПК встановлена інтегрована система SCADA/НМІ "Trace Mode 6", інструментальна система програмування контролера "WinPLC7", VIPA OPC Server та інструментальна система "Movicon 11". На промисловий контролер "VIPA" (ПЛК VIPA) в ході дослідження системи управління фізичною моделлю технологічного об'єкту поступають фізичні сигнали (1) промислових датчиків. Згідно до алгоритму управління технологічним об'єктом, який реалізується студентом або в панелі оператора та контролері, або в ПК та контролері, на виконавчі пристрої об'єкта подаються сигнали управління (2) з виходів контролера. Розробка студентом програмного забезпечення (9) системи управління виконується на ПК лабораторного столу. Якщо вивчається система управління на основі панелі оператора та контролера, то прикладне програмне забезпечення з ПК завантажується і до контролера "VIPA" (6), і до панелі оператора (4). Якщо ж вивчається система управління на основі ПК та контролера, то частина прикладного програмного забезпечення завантажується до контролера (6), а решта виконується на самому ПК. Якщо вивчається система з панеллю оператора та контролером, то в процесі управління технологічним об'єктом контролер "VIPA" та панель оператора зі SCADA/НМІ "Movicon 11" в режимі реального часу обмінюються цифровими даними (3). Через графічний інтерфейс, реалізований в панелі оператора за допомогою SCADA/НМІ "Movicon 11", студент може спостерігати (5) за роботою системи управління технологічним об'єктом та надавати їй відповідні накази. Графічний інтерфейс з панелі оператора може передаватися (4) на екран монітору ПК, який має більший розмір ніж панель оператора, що робить спостереження за процесом (9) з боку студента більш комфортним. Якщо ж вивчається система з ПК та контролером, то в процесі управління технологічним об'єктом контролер "VIPA" та ПК зі SCADA/НМІ "Trace Mode 6" в режимі реального часу обмінюються цифровими даними через VIPA OPC Server (7). Через графічний інтерфейс, реалізований в ПК за допомогою SCADA/НМІ "Trace Mode 6", студент спостерігає (9) за роботою системи управління та надає їй відповідні накази.

Лабораторні та практичні завдання, що пов'язані з управлінням технологічними об'єктами, характеризуються найбільшою складністю і виконуються студентами старших курсів. Для студентів же молодших курсів, а також для розширення тематики навчальних завдань, в лабораторному практикумі застосовуються настільні спеціалізовані стенди-імітатори. Такі стенди містять або просту фізичну модель об'єкта управління, або його схемну імітаційну модель, яка взаємодіє з промисловим контролером через свої вхідні та вихідні сигнали (8). Студент може здійснювати через такий настільний

стенд певні керуючі дії (10) на систему "контролер – стенд" та наочно спостерігати за її роботою. Для візуалізації процесу управління контролер обмінюється даними або з панеллю оператора (3) та її SCADA/НМІ "Movicon 11", або з ПК (7) та її SCADA/НМІ "Trace Mode 6". У разі використання настільного спеціалізованого стенду студент повинен розробити на ПК (9) відповідне програмне забезпечення промислового контролера, панелі оператора або ПК, а потім завантажити його до промислового контролера (6), панелі оператора (4) чи запустити до дії на ПК.

Подальше нарощування масштабу систем автоматизації, які вивчаються на лабораторному практикумі, виконується або шляхом горизонтальної інтеграції систем управління технологічними та технічними процесами (рівень SCADA), або шляхом їх вертикальної інтеграції з організаційно-технічними системами управління виробництвом (рівень MES). При цьому в якості основної інтеграційної технології застосовується технологія OPC, яка є найбільш розповсюдженим стандартом інформаційного обміну між промисловими програмними додатками, в тому числі, через мережі.

Тому в ході виконання наступного етапу лабораторного практикуму можна об'єднати між собою АСУ управління фізичними моделями технологічних та технічних об'єктів (АСУТП), що вже реалізовані студентами на попередніх етапах, для створення, наприклад, інтегрованого операторського рівня управління «навчальною фабрикою». Якщо ж з'єднати вказані АСУТП з робочими місцями управлінців MES системи, що реалізуються на комп'ютерах окремих зон лабораторії («відділ кадрів», «відділ матеріального постачання», «відділ технічного обслуговування та ремонту», «технічний відділ» і т.п.), то можна побудувати багаторівневу комп'ютерно-інтегровану систему управління виробництвом "навчальної фабрики" (рис. 6).

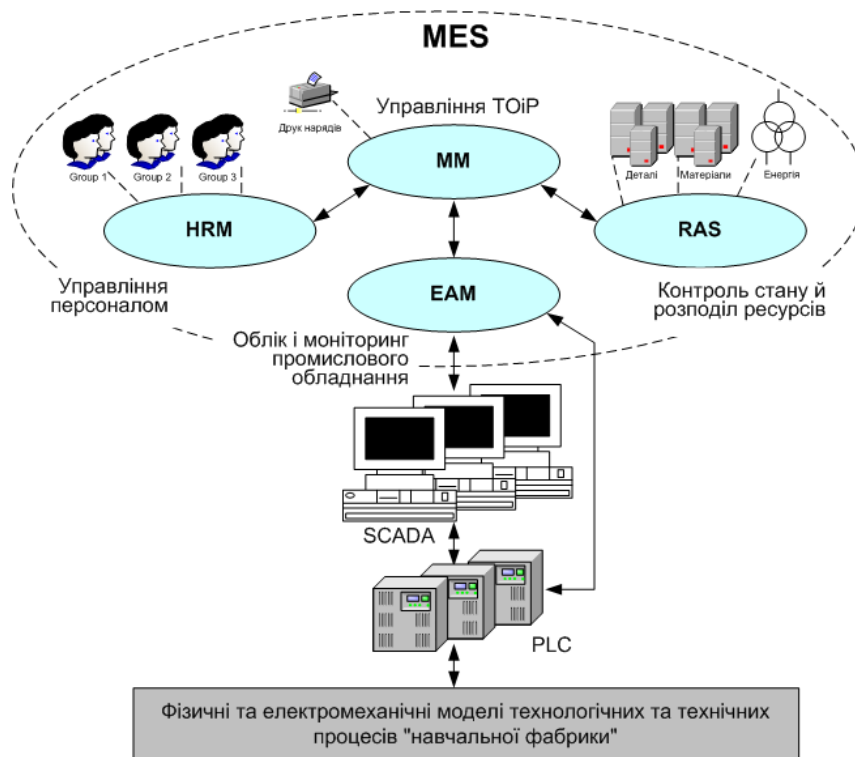


Рис. 6. Комп'ютерно-інтегрована система управління виробництвом "навчальної фабрики"

Для реалізації на лабораторному практикумі такої системи управління необхідно застосувати додаткові програмні засоби автоматизації рівня MES. В нашому випадку таким засобом є інтегрована система "Trace Mode 6", яка містить економічний модуль "T-Factory 6", що дозволяє реалізувати такі функції MES системи: EAM (облік та моніторинг промислового обладнання), MM (управління технічним обслуговуванням і ремонтом, TOiP), RAS (контроль стану й розподіл ресурсів виробництва) та HRM (управління персоналом). Усі ці функції повинні бути реалізованими на окремих ПК лабораторії у вигляді автоматизованих робочих місць (АРМ) відповідних управлінців.

Тоді така комп'ютерно-інтегрована система управління виробництвом дозволить, наприклад, зв'язати регламенти техобслуговування та ремонту обладнання "навчальної фабрики" (фізичні та

електромеханічні моделі технологічних та технічних процесів, промислові контролери, АРМ операторів), що формуються функцією MM, з інформацією реального часу, яку функція EAM отримує від систем рівня SCADA і від промислових контролерів (PLC). На підставі сформованих регламентів функція MM буде автоматично генерувати замовлення на матеріали і направляти їх до функції RAS. Функція MM також автоматично генеруватиме наряди на роботи з техобслуговування та ремонту обладнання, направляючи їх до функції HRM, яка повинна виділити для цього працівників відповідної спеціальності.

На рис. 7 показаний принцип побудови на основі описаних вище лабораторних об'єктів такої комп'ютерно-інтегрованої системи управління (KICU) виробництвом "навчальної фабрики".

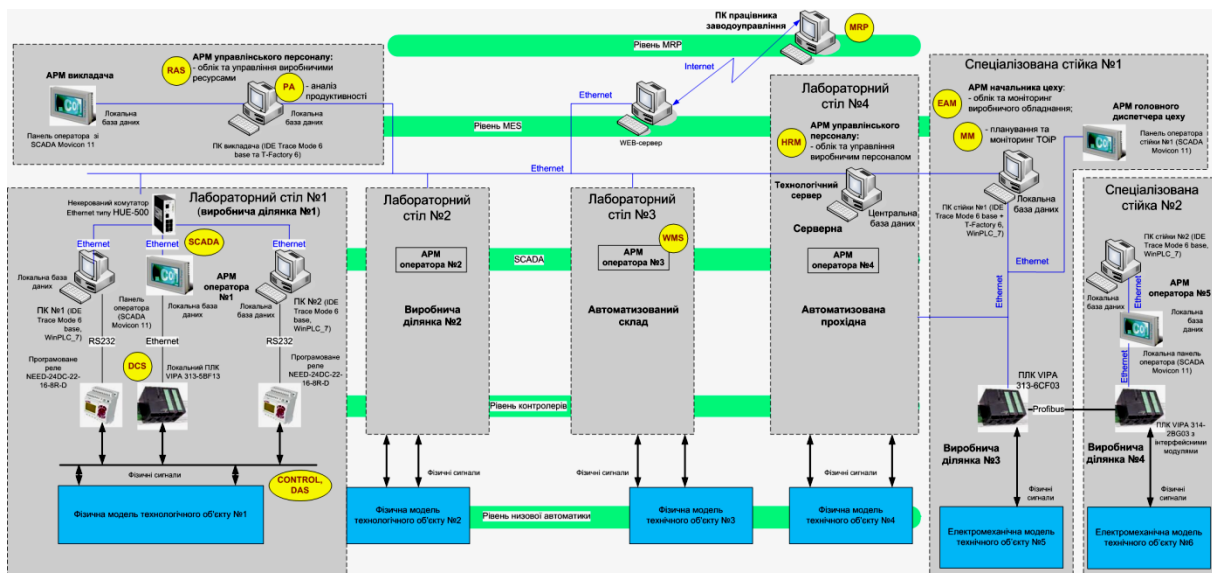


Рис. 7. Принцип побудови KICU виробництвом "навчальної фабрики"

В такій KICU чітко виділяються рівні вертикальної інтеграції системи – рівень низової автоматики (DAS, CONTROL), рівень контролерів (DCS), рівень операторських станцій (SCADA), рівень управління виробництвом (MES) та рівень управління підприємством (MRP). Три перші рівні разом утворюють автоматизовану систему управління технологічними процесами.

На всіх рівнях KICU створюються необхідні бази даних – локальні та центральна. Для реалізації центральної бази даних цехового рівня (технологічний сервер) використовується персональний комп'ютер універсального лабораторного столу №4, який імітує окреме приміщення серверної цеху.

Цеховий рівень організаційно-технічного управління виробництвом імітується програмними засобами персональних комп'ютерів спеціалізованої стійки №1, лабораторних столів №3 та №4, робочого місця викладача. На персональному комп'ютері стійки №1 створюється автоматизоване робоче місце начальника цеху з такими функціями MES:

- облік та моніторинг виробничого обладнання (EAM) як частини функції RAS (контроль стану й розподіл ресурсів) системи MES;
- планування та моніторинг технічного обслуговування і ремонту (MM, Maintenance Management).

На персональному комп'ютері лабораторного столу №3 створюється робоче місце оператора автоматизованого складу з функцією WMS системи MES. На персональному комп'ютері лабораторного столу №4 створюється, крім технологічного серверу, автоматизоване робоче місце управлінця з функцією обліку та управління виробничим персоналом (HRM). Одним із джерел інформації для цього АРМ може бути АСУ прохідною заводу.

На персональному комп'ютері робочого місця викладача створюється автоматизоване робоче місце управлінця з загальною функцією контролю стану й розподілу ресурсів, яка у межах цеху №1 "навчальної фабрики" може виконувати облік матеріальних ресурсів. Крім того, дане робоче місце управлінця може виконувати і функцію PA (аналіз продуктивності) системи MES, яка у межах цеху №1 може виконувати фінансовий облік енергетичних ресурсів виробництва, зокрема витрат електроенергії працюючими технологічними об'єктами.

Робочі місця персоналу організаційно-економічного управління підприємством (MRP), які віртуально розміщуються у будівлі заводу управління навчальної фабрики", імітуються комп'ютерами віддалених Web-клієнтів, на яких за допомогою звичайних Internet-браузерів можна переглядати Web-сторінки систем управління нижніх рівнів КІСУ, які зберігаються на відповідних Web-серверах (в контролерах, в панелях оператора, в персональних комп'ютерах, на сервері факультету).

Реалізація функцій MRP системи можлива і з залученням "хмарних" сервісів Інтернету речей, що є подальшим етапом масштабування КІСУ виробництвом "навчальної фабрики".

Інтернет речей, який з'явився порівняно нещодавно, зараз швидко перетворюється у всеохоплюючу інформаційну технологію як для повсякденного використання людьми, так і для комп'ютерної автоматизації промислового виробництва в рамках концепції «Індустрія 4.0» [15]. Для реалізації цієї концепції міжнародна компанія PTC, що є світовим лідером у цій сфері, запропонувала високоефективну гнучку програмну платформу ThingWorx Foundation, яка побудована на основі різноманітних інформаційних технологій з «хмарними» сервісами (рис. 8) і дозволяє вирішувати широке коло практичних задач сучасної комп'ютерної автоматизації виробництва [16]. На даний час ВНТУ є діловим партнером компанії PTC і тому отримав ліцензійний пакет установки платформи ThingWorx Foundation, а також доступ до її "хмарної" версії, що дозволяє організувати дистанційне практичне навчання студентів в рамках лабораторного практикуму.

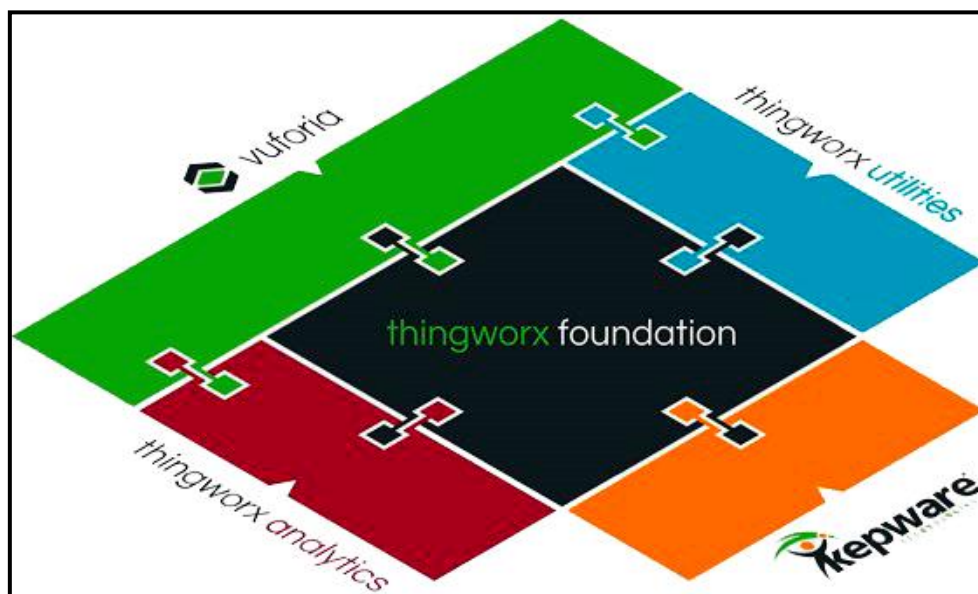


Рис. 8. Архітектура платформи ThingWorx Foundation

Ядро платформи ThingWorx містить у собі базу даних по інформаційній моделі тих виробничих процесів та "розумних" об'єктів, для яких виконується цифрова трансформація. Розробка інформаційної моделі цифрового виробництва на платформі ThingWorx Foundation виконується на основі постачених разом з ядром універсальних шаблонів об'єктів, датчиків, процесів, інтерфейсів. Розробка IoT (Industrial Internet of Things) додатка не вимагає рутинної праці по кодуванню на мовах високого рівня (C, C#, SQL Plus і т.д.) і не вимагає наявності на боці замовника висококваліфікованих програмістів: розробка IoT додатків користувача являє собою вибір потрібних шаблонів і з'єднання їх у потрібному порядку з необхідним набором контрольованих параметрів. Уся ця робота провадиться у постаченому разом з ядром ThingWorx графічному редакторі, що суттєво скорочує трудомісткість розробки IoT додатків.

Для зв'язку з контрольованими інтелектуальними об'єктами, які відсутні у стандартних наборах шаблонів ядра, з різноманітними автономними сенсорними пристроями, радіопередавачами, сканерами, датчиками температури, вологості, солонуватості, лужності, диму і т.д., служить сервер ThingWorx Connectivity. Для роботи з потоком "великих даних" ("Big Data") і необхідної при цьому аналітики слугує сервер ThingWorx Analytics. Сервер вже містить шість базових сертифікованих алгоритмів машинного навчання – елемента штучного інтелекту. Вже в такій базовій комплектації розгортання на платформі ThingWorx Foundation аналітики по роботі з потоком даних, що надходять від зовнішніх підключених

інтелектуальних пристроїв (сенсорів, передавачів сигналів тощо) дозволяє перейти до реального вирішення задач прогнозування та побудови розширюваної та корегованої бази знань.

Для спеціалізованої функціональності та розширення можливостей розробки на базі платформи ThingWorx Foundation слугує сервер ThingWorx Utilities. Його використання дає можливість включити до складу платформи "розумного виробництва" такі задачі, як управління активами, управління ризиками, управління потоками задач та ролеве управління, а середовище розробки сервера ThingWorx Utilities дозволяє без рутинного програмування описувати також специфічні управлінські задачі користувача та виконувати інтеграцію з управлінськими модулями зовнішніх систем.

Модуль ThingWorx Studio використовується для розробки додатків доповненої реальності (AR), які могли би бути застосовані у якості цифрових двійників (digital twins), віртуальних тренажерів, асистентів виконання складних операцій і в якості графічного інтерфейсу користувача по відношенню до додатків IoT, розроблених в інших серверних модулях платформи ThingWorx Foundation.

Розглянута модульна, масштабована, здатна до конфігурування під задачі замовника структура платформи ThingWorx Foundation дозволяє виконувати проекти по цифровій трансформації сучасного виробництва практично будь-якої розмірності та складності. Тому в лабораторному практикумі подальше масштабування КІСУ "навчальної фабрики" виконується саме на основі даної платформи промислового Інтернету речей шляхом виконання студентами таких лабораторних завдань з практичного застосування платформи ThingWorx Foundation у промислових системах управління:

- інтеграція успадкованих промислових систем управління з Інтернетом речей;
- реалізація людино-машинних інтерфейсів;
- реалізація машинно-машинної взаємодії;
- реалізація аналітичної обробки даних;
- реалізації засобів доповненої реальності.

Для прикладу розглянемо архітектуру КІСУ виробництвом, яку студенти повинні створити при дослідженні застосування платформи ThingWorx Foundation для реалізації машинно-машинної взаємодії (рис. 9). В цій архітектурі можна виділити такі рівні:

- рівень технологічних процесів (настільний спеціалізований стенд-імітатор №1 "Автоматизована виробнича лінія з роботом", настільний спеціалізований стенд-імітатор №2 "Автоматизована виробнича лінія з конвеєром", фізична модель технічного об'єкту "Автоматизований виробничий склад");
- рівень контролерних засобів (ПЛК 1 – ПЛК 3);
- рівень операторського управління (АРМ 1 – АРМ 3);
- рівень MES організаційно-технічного управління виробництвом (АРМ 4);
- рівень MRP організаційно-економічного управління виробництвом (iPhone 1, iPhone 2);
- серверний рівень (сервер Інтернету речей "IoT server");
- "хмарний" рівень ("ThingWorx").

На комп'ютері, що виконує функцію "IoT server", встановлюється комунікаційна платформа "KEPServerEX" з тегами машино-машинної взаємодії Advanced Tags, а також агент "IoT Gateway". "Хмарний" рівень утворюється такими сервісами платформи ThingWorx, як "ThingWorx Controls Advisor" та "ThingWorx Asset Advisor". Усі рівні, крім нижчого та верхнього, обмінюються інформацією через корпоративну мережу Ethernet. На трьох ПК операторів (АРМ 1, АРМ 2, АРМ 3) встановлені OPC-сервери фірми "VIPA" (OPCСервер1, OPCСервер2, OPCСервер3) та SCADA "Trace Mode 6". На ПК рівня управління виробництвом (АРМ 4) встановлено економічний модуль "T-Factory 6", за допомогою якого реалізована функція "MES", а на мобільних пристроях "iPhone1" та "iPhone2" – інтерфейси користувача "хмарних" додатків ThingWorx, а саме, "UI ThingWorx Asset Advisor" (iPhone1) та "UI ThingWorx Controls Advisor" (iPhone2). Між серверним рівнем та "хмарним" рівнем використовується звичайна мережа Internet, а між "хмарним" рівнем та мобільними пристроями – мобільний Інтернет.

Рівень технологічних процесів імітує роботу реального виробничого цеху "навчальної фабрики", який складається з двох автоматизованих виробничих ліній (настільний спеціалізований стенд-імітатор №1, настільний спеціалізований стенд-імітатор №2) та фізичної моделі автоматизованого виробничого складу. На рисунку пунктирними стрілками показані функціональні зв'язки між цим устаткуванням (передача матеріальних ресурсів та готової продукції). Для оптимізації процесу управління таким виробничим процесом, згідно до вимог концепції "Індустрія 4.0", між виробничим устаткуванням та іншими технічними пристроями можна реалізовувати такі машино-машинні взаємодії (M2M): між автоматизованою виробничою лінією з роботом та автоматизованою виробничою лінією з конвеєром через OPCСервер1, OPCСервер2 та Advanced Tags платформи KEPServerEX (потоки даних 1, 2, 3); між

автоматизованою виробничою лінією з конвеєром та автоматизованим виробничим складом через OPCСервер2, OPCСервер3 та Advanced Tags платформи KEPServerEX (потоки даних 1, 2, 3); між автоматизованим виробничим складом та автоматизованою виробничою лінією з роботом через OPCСервер3, OPCСервер1 та Advanced Tags платформи KEPServerEX (потоки даних 1, 2, 3); між APM3 автоматизованого виробничого складу та APM4 (MES) через OPCСервер3 та Advanced Tags платформи KEPServerEX (потоки даних 2, 5); M2M взаємодія виробничого устаткування та iPhone1 з UI "хмарного" додатку "ThingWorx Asset Advisor" (потоки даних 1, 2, 6, 7); між APM3 та iPhone2 з UI "хмарного" додатку "ThingWorx Controls Advisor" (потоки даних 2, 6, 8, 4).

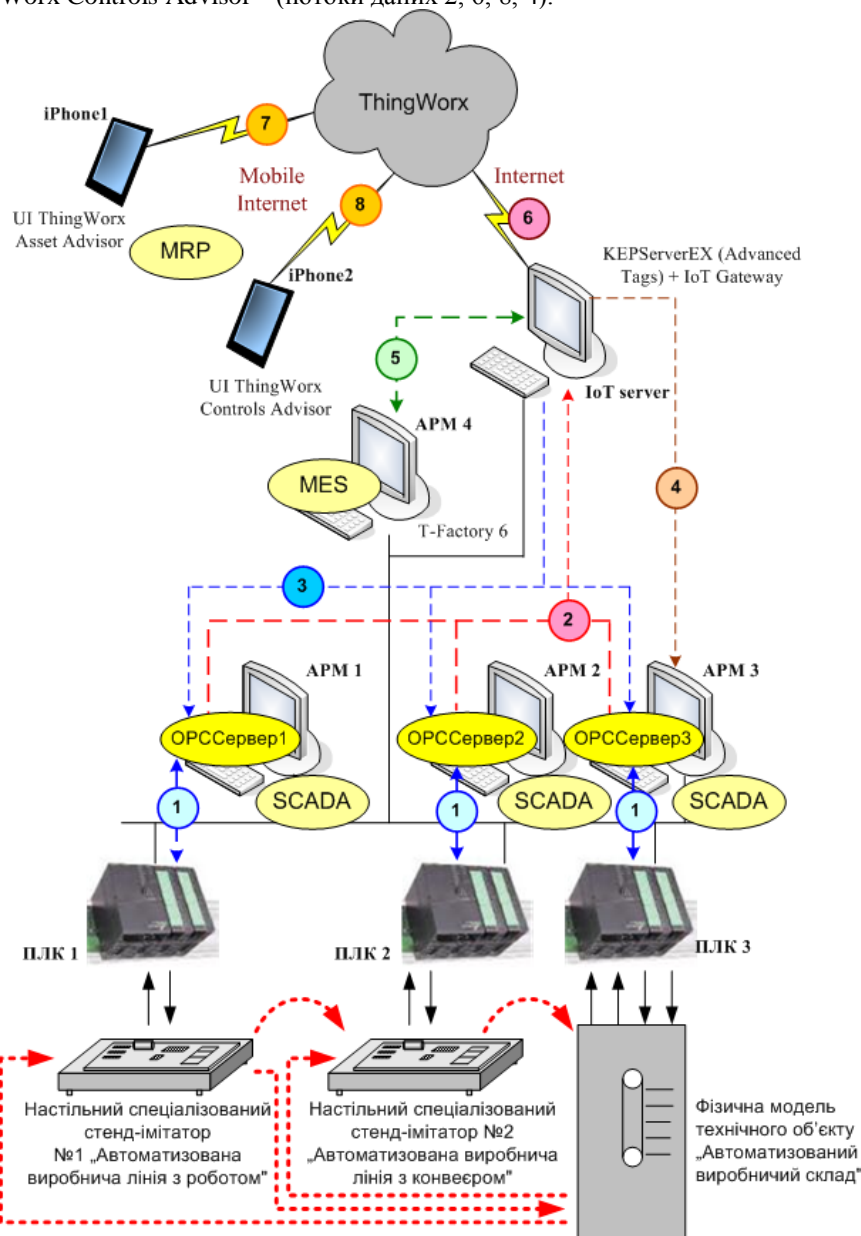


Рис. 9. Архітектура КІСУ з машино-машинною взаємодією на основі платформи ThingWorx

Вивчати застосування платформи ThingWorx виконується на протязі двох старших курсів та в рамках кількох професійних та спеціальних дисциплін, що забезпечує наскрізну практичну підготовку студентів, коли складність навчальних завдань поступово зростає, а отримані результати на попередніх етапах використовуються як вихідні для виконання наступних лабораторних завдань.

## ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень була знайдена така нова форма організації лабораторного практикуму, що отримала назву "лабораторна імітація навчальної фабрики", яка дозволяє студентам спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" на базовому рівні ефективно набувати цілісних і стійких професійно-практичних знань, умінь та навичок у плануванні та здійсненні основних етапів життєвого циклу автоматизованих систем різного призначення та масштабу, включаючи "хмарні" сервіси Інтернету речей, а також дає можливість навчальному закладу просто й дешево виконувати його модернізацію чи адаптацію до неодмінних подальших вдосконалень програмно-технічних засобів та технологій автоматизації.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стандарт вищої освіти бакалавра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування»: затверджено і введено в дію Наказом Міністерства освіти і науки України від 4.10.18 р. №1071 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/151-avtomatizatsiya-ta-kompyuterno-integrovanii-tekhnologii-bakalavr.pdf>.
2. Стандарт вищої освіти магістра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування»: проект стандарту [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://mon.gov.ua/storage/app/media/vyshcha/naukovo-metodychna\\_rada/proekty\\_standartiv\\_VO/151-avtomatizacziya-ta-kompyuterno-integrovanii-tekhnologiyi-magistr-22052017-bez-matri.doc](https://mon.gov.ua/storage/app/media/vyshcha/naukovo-metodychna_rada/proekty_standartiv_VO/151-avtomatizacziya-ta-kompyuterno-integrovanii-tekhnologiyi-magistr-22052017-bez-matri.doc).
3. П. Воробієнко, А. Ложковський (2016). Компетентнісний підхід у вищій освіті — від теорії до практики. Вища школа, 6, 13–20.
4. О. П. Чорний, Ю. В. Лашко, Т. П. Коваль, (2013). Особливості процесу підготовки фахівців інженерних спеціальностей. Інженерні та освітні технології в електротехнічних і комп'ютерних системах, 2, 9-19.
5. М.В. Загірняк, Д.Й. Родькін, О.П. Чорний, (2009). Віртуальні лабораторні системи і комплекси – нова перспектива наукового пошуку і підвищення якості підготовки фахівців з електромеханіки. Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Кременчук: КДПУ, 2/2009 (6), 8–12.
6. А. Л. Перекрест, Г. О. Гаврилець, В. В. Снігур, (2014). Реалізація завдань цифрової обробки сигналів з використанням віртуальних та фізичних лабораторних стендів. Інженерні та освітні технології в електротехнічних і комп'ютерних системах, 2 (6), 8-19.
7. А. В. Чермалых, И. Я. Майданский, (2015). Использование специализированных компьютерных стендов для постановки виртуальных лабораторных работ. Інженерні та освітні технології, 3 (11), 175-177.
8. М.В. Загірняк, О.П. Чорний, (2013). Інформаційно-комунікаційні технології у підготовці фахівців технічних спеціальностей. Інженерна освіта, 1, 7–19.
9. Национальный университет пищевых технологий, Киев [Електронний ресурс] : Примеры оснащения : Поддержка вузов : Услуги : СВ АЛЬТЕРА. – Режим доступу : <http://www.svaltera.ua/services/high-schools/examples/6138.php>.
10. Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт" [Електронний ресурс] : Примеры оснащения : Поддержка вузов : Услуги : СВ АЛЬТЕРА. – Режим доступу : <http://www.svaltera.ua/services/high-schools/examples/6144.php>.
11. Национальный технический университет "Харьковский Политехнический Институт" [Електронний ресурс] : Примеры оснащения : Поддержка вузов : Услуги : СВ АЛЬТЕРА. – Режим доступу : <http://www.svaltera.ua/services/high-schools/examples/8006.php>.
12. Одесская национальная академия пищевых технологий [Електронний ресурс] : Примеры оснащения : Поддержка вузов : Услуги : СВ АЛЬТЕРА. – Режим доступу : <http://www.svaltera.ua/services/high-schools/examples/7161.php>.
13. Working and learning [Електронний ресурс]: Festo Corporate. - Режим доступу: <https://www.festo.com/group/ru/cms/10968.htm>.
14. An integrated learning system for Industry 4.0 [Електронний ресурс]: Festo Didactic. - Режим доступу: <https://www.festo-didactic.com/int-en/highlights/qualification-for-industry-4.0/project-workstation-i4.0-cp-lab/>.
15. Лопухов И. (2015). Коммуникационные технологии умного предприятия в рамках концепции Индустрия 4.0 и Интернета вещей. Современные технологи автоматизации, 2, 36-44.

16. Офіційний сайт компанії PTC [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.ptc.com/>.

## REFERENCES

1. Stsndart vyschoy osvity bakalavra za spetsialnistiu 151 «Avtomatizatsia ta komputerno-integrovani tekhnologyy» galuzi znan 15 «Avtomatizatsia ta pryladobuduvannia»: zatverdzheno ta vvedeno v diyu Nakazom Ministersnva osvity ta nauky Ukrainy vid 4.10.18 r. №1071 [Electronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/151-avtomatizatsiya-ta-kompyuterno-integrovani-tekhnologii-bakalavr.pdf>.
2. Stsndart vyschoy osvity magistra za spetsialnistiu 151 «Avtomatizatsia ta komputerno-integrovani tekhnologyy» galuzi znan 15 «Avtomatizatsia ta pryladobuduvannia» : proakt standartu [Electronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : [https://mon.gov.ua/storage/app/media/vyshcha/naukovo-metodychna\\_rada/proekty\\_standartiv\\_VO/151-avtomatizacziya-ta-kompyuterno-integrovani-texnologiyi-magistr-22052017-bez-matri.doc](https://mon.gov.ua/storage/app/media/vyshcha/naukovo-metodychna_rada/proekty_standartiv_VO/151-avtomatizacziya-ta-kompyuterno-integrovani-texnologiyi-magistr-22052017-bez-matri.doc).
3. Vorobienko P. Kompetentnistnyi pidchid u vyshiy osviti — vid teorii do praktyky / P. Vorobienko, A. Lozgovskyy // Vuscha shkola . – 2016. – №6. – С. 13–20.
4. Chorny O. P. Osoblyvosty prozessu pidgotovky fachivziv inzhenernykh spetsialnostey / O. P. Chorny, U. V. Lashko, T. P. Koval // Inzhenerni ta osvitni technology v elektrotechnitshnykh ta komputernykh systemach. – 2013. – № 2. – С. 9-19 [Electronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : <http://eetecs.kdu.edu.ua>.
5. Zagirniak M.V. Virtualnii laboratornii systemy I komplekxy – nova perspektyva naukovogo poshuku ta pidvyschennia yakostii pidgotovky fachivtsiv z elektromechaniky / M.V. Zagirniak, D.Y. Rodkin, O.P. Chorny // Elektromechanichni i energozberigayutchii systemy. – Kremenchuk: KDPU. – 2009. – Vyp. 2/2009 (6). – С. 8–12.
6. Perekrest A. L. Realizatsya zavdan tsyfrovoyi obrobky sygnaliv z vykorystanniam virtualnykh ta fizychnykh laboratornykh stendiv / A.L. Perekrest, G.O. Gavrylets, V.V. Snigur // Inzhenerni ta osvitni technology v elektrotechnitshnykh ta komputernykh systemach. – 2014. – № 2 (6). – С. 8-19 [Electronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : <http://eetecs.kdu.edu.ua>.
7. Chermalyk A. V. Ispolzovanya spetsialazironanykh komputernykh stendov dlia postanovkii virtualnykh laboratornykh rabot / A. V. Chermalyk, I. Ya. Maydanskyy // Inzhenerni ta osvitni technology. – 2015. – № 3 (11). – С. 175-177.
8. Zagirniak M.V. Informatsiyno-kommunikatsyinii technology u pidgotovtsi fachivtshiv technichnykh spetsialnostay / M.V. Chermalyk, O.P. Chorny // Inzhenerna osvita. – 2013. – № 1. – С. 7–19.
9. Natsionalnyi universytat pyshavykh technology, Kiev [Electronnyi resurs] : Primery osnaschenia : Podderzghka vuzov : Uslugii : SV ALTERA. – Rezhim dostupu : <http://www.svaltera.ua/services/high-schools/examples/6138.php>.
10. Natsionalnyi technicheskyy universitet Ukrainy "Kievskyy Polytechnicheskyy institut" [Electronnyi resurs] : Primery osnaschenia : Podderzghka vuzov : Uslugii : SV ALTERA. – Rezhim dostupu : <http://www.svaltera.ua/services/high-schools/examples/6144.php>.
11. Natsionalnyi technicheskyy universitet "Kchorkovskyy Polytechnicheskyy institut" [Electronnyi resurs] : Primery osnaschenia : Podderzghka vuzov : Uslugii : SV ALTERA. – Rezhim dostupu : <http://www.svaltera.ua/services/high-schools/examples/8006.php>.
12. Odesskaya natsionalnaya academia pyshavykh technology [Electronnyi resurs] : Primery osnaschenia : Podderzghka vuzov : Uslugii : SV ALTERA. – Rezhim dostupu : <http://www.svaltera.ua/services/high-schools/examples/7161.php>.
13. Working and learning [Electronnyi resurs] : Festo Corporate. - Rezhim dostupu : <https://www.festo.com/group/ru/cms/10968.htm>.
14. An integrated learning system for Industry 4.0 [Electronnyi resurs] : Festo Didactic. - Rezhim dostupu : <https://www.festo-didactic.com/int-en/highlights/qualification-for-industry-4.0/project-workstation-i4.0-cp-lab/>.
15. Lopuchov I. Kommunikatsionnye technology umnogo predpriyatya v ramkakh kontsapsii Industria 4.0 i Intertata veschay // Sovremennyye technology avtomatizatsyy. – 2015. - №2. – С. 36-44.
16. Ofitsiynny sayt kompanii PTC [Electronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : <https://www.ptc.com/>.



Надійшла до редакції 28.10.2018

**ВОЛОДИМИР МИКОЛАЙОВИЧ ПАПІНОВ** – к.т.н., доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна

**ЯРОСЛАВ АНАТОЛІЙОВИЧ КУЛИК** – к.т.н., старший викладач кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна