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

УДК 378 + 681.324

В.М. ПАПІНОВ, Я.А. КУЛИК

INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS: ПРАКТИЧНЕ ВИВЧЕННЯ НА БАЗІ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

*Вінницький національний технічний університет
21021, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна
¹ Тел.: +38(067)7813273, E-mail: vnrapinov@gmail.com
² Тел.: +38(096)8232964, E-mail: Yaroslav_Kulik@i.ua*

Анотація. У статті розглядаються навчально-методичні аспекти організації на базі багатофункціональної комп'ютеризованої лабораторії практичного вивчення студентами спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» основних інформаційних технологій промислового Інтернету речей та їх використання в системах управління виробництвом.

Ключові слова: комп'ютеризована лабораторія, автоматизація, комп'ютерно-інтегрована технологія, промисловий Інтернет речей, система управління виробництвом.

Аннотация. В статье рассматриваются учебно-методические аспекты организации на базе многофункциональной компьютеризированной лаборатории практического изучения студентами специальности 151 «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии» основных информационных технологий промышленного Интернета вещей и их использование в системах управления производством.

Ключевые слова: компьютеризированная лаборатория, автоматизация, компьютерно-интегрированная технология, промышленный Интернет вещей, система управления производством.

Abstract. In article are considering the education-methodical aspects of organization on a base of multifunctional computerized lab of practice learning by students of specialty 151 "Automation and computer-integration technologies" of the fundamental IIoT information technologies and its using in MES.

Keywords: computerized lab, automation, computer-integration technology, manufactory execution system (MES), Industrial Internet of Things (IIoT).

DOI: 10.31649/1681-7893-2019-38-2-122-137

ВСТУП

В наш час інформаційні системи та технології різноманітного призначення набувають самого широкого розповсюдження та динамічного розвитку. Яскравим прикладом цьому є Інтернет речей, який з'явився порівняно нещодавно, але 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» [1]. В останньому випадку прийнято говорити про промисловий Інтернет речей, або Industrial Internet of Things (IIoT) [2].

У зв'язку з цим, комп'ютерні системи автоматизації виробництва на основі IIoT обов'язково мають бути предметом вивчення в процесі професійної підготовки бакалаврів та магістрів спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології". При цьому, крім обов'язкового формування необхідних професійно-функціональних знань та вмінь з промислової автоматизації на основі IIoT, треба

вдосконалювати професійно-практичну складову навчання, що сприятиме виробленню та закріпленню у студентів відповідних стійких умінь та навичок, пов'язаних з їх професійною діяльністю. Зазвичай одним із визначальних факторів навчального процесу, що сприяє саме такій професійно-практичній підготовці студентів, 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].

Складність комп'ютерно-інтегрованих та комунікаційних технологій ІоТ, їх постійний і швидкий розвиток також ставлять перед вузами проблему пошуку та впровадження нових форм організації та навчальних методик проведення лабораторного практикуму, який би забезпечував високу якість професійно-практичної підготовки студентів в області автоматизації виробництва на основі ІоТ.

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ВИЯВЛЕННЯ ПРОБЛЕМИ

Як було зазначено вище, сучасне виробництво стоїть на порозі 4-ї технологічної революції, в основі якої лежить концепція "Індустрії 4.0" повністю мережевого й адаптивного виробництва з інтелектуальними системами. Однак, щоб використати весь потенціал даної концепції, необхідні корінні зміни на ринку праці відповідно до мінливих вимог і, як результат, у принципах навчання, тому що саме люди - ключовий фактор успіху. Саме справжні професіональні кадри в області автоматизації, інформаційних та комп'ютерно-інтегрованих технологій повинні бути агентами сучасних змін виробництва, вміти досліджувати й глибоко розуміти нові технології, а також бути здатними приймати обґрунтовані рішення щодо ефективності використання цих технологій для поліпшення результатів роботи своїх підприємств чи компаній.

Саме для вирішення проблеми підготовки нових кадрів для реалізації концепції "Індустрія 4.0" провідні компанії в області промислової автоматизації, що планують розширяти області застосування своєї продукції та новітніх технологій, нещодавно стали створювати та активно використовувати тренувальні «навчальні фабрики» ("Learning Factory"), які максимально зближують наукові розробки компаній та їх новітнє навчальне обладнання з реальним виробництвом [9,10]. 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", а до цього виробництва підключаються системи класу MES та ERP. Така насиченість «навчальних фабрик» новітніми зразками програмно-технічних комплексів та технологій автоматизації, необмеженість масштабів та призначень створюваних в них новітніх систем автоматизації, без сумніву, дозволяє віднести їх до «ідеального» типу організації лабораторного практикуму [4]. Такий практикум забезпечує поступове нарощування в процесі навчання складності практичних завдань та масштабів об'єктів вивчення, що сприяє формуванню у майбутніх фахівців, наприклад, спеціальності 151 цілісних професійних знань та стійких практичних навичок в області автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій. На жаль, реалізація такого лабораторного практикуму на сьогодні є занадто дорогою справою, тому пройде ще багато часу, поки студенти українських вузів зможуть навчатися таким же чином.

На даний момент в переважній більшості технічних вузів при підготовці фахівців спеціальності 151 все ще використовується «традиційний» тип практикуму, який передбачає створення низки навчальних лабораторій з встановленими в них дорогими вузькоспеціалізованими стендами [11-14]. 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, зокрема, на основі «хмарних» сервісів ІоТ.

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, особливо таких масштабних, як системи управління виробництвом на основі ІоТ.

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 професійно-практичних знань основних інформаційних технологій ІоТ, стійких умінь та навичок їх практичного використання в автоматизованих системах управління виробництвом, а також давав можливість вищому навчальному закладу просто й дешево виконувати модернізацію чи адаптацію лабораторного практикуму до неодмінних подальших вдосконалень програмно-технічних засобів, комунікаційних та комп'ютерно-інтегрованих технологій ІоТ. Для досягнення поставленої мети дослідження треба розв'язати такі основні задачі:

- Формування загальної концепції та основних принципів організації лабораторного практикуму з вивчення основних інформаційних технологій ІоТ.
- Вибір сучасної промислової програмної платформи ІоТ.
- Визначення для лабораторного практикуму базових варіантів об'єктів практичного вивчення основних інформаційних технологій ІоТ на основі вибраної програмної платформи.
- Розробка для лабораторного практикуму такої структурно-логічної схеми поетапної професійно-практичної підготовки студентів, яка б забезпечувала ефективне практичне вивчення студентами основних інформаційних технологій ІоТ.

АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Як зазначалось вище, з навчально-методичної точки зору "ідеальний" тип лабораторного практикуму для професійно-практичної підготовки студентів спеціальності 151, зокрема в області ІоТ, може бути організований лише в рамках "навчальної фабрики", яка об'єднує в єдине ціле реальне виробництво, новітні засоби і технології автоматизації, а також модульне навчальне обладнання. Проте, виходячи з економічних умов, реалізувати на даний момент такий тип практикуму на провідних вітчизняних підприємствах, а тим більше, у вищих навчальних закладах, неможливо. Тому в [15] запропоновано для наскрізної професійно-практичної підготовки студентів спеціальності 151 організувати лабораторний практикум на основі комп'ютеризованої багатофункціональної лабораторії, в якій відтворюються усі основні ознаки "навчальної фабрики". Такий лабораторний практикум можна вважати проміжним типом, так як в лабораторії присутні реальні програмно-технічні комплекси та новітні технології автоматизації (як у "навчальній фабриці"), а технологічні та виробничі процеси, реально існуючі у "навчальній фабриці", в лабораторії реалізовані "традиційним" способом – у вигляді модульних лабораторних стендів на основі різноманітних моделей (фізичних, імітаційних, програмних, гібридних тощо). Усі програмно-технічні засоби лабораторії та її лабораторні стенди об'єднуються промисловими цифровими мережами у загальну комп'ютерно-інтегровану систему управління (КІСУ) деяким виробничим підприємством (фабрикою), що і дає змогу назвати цей проміжний тип лабораторного практикуму – "лабораторна імітація навчальної фабрики". Саме на основі такого типу лабораторного практикуму, 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 на основі ІоТ – виявлення суспільних потреб, проектування, впровадження (реалізація), експлуатація.

Для реалізації згаданої вище концепції "Індустрії 4.0" повністю мережевого й адаптивного виробництва з інтелектуальними системами міжнародна компанія PTC, що є світовим лідером у цій сфері, запропонувала високоефективну гнучку програмну платформу ІоТ – "ThingWorx Foundation" ("TWF"), яка побудована на основі різноманітних інформаційних технологій з «хмарними» сервісами (рис. 1) 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 ліцензію для вільного доступу до "хмарної" версії платформи "ThingWorx Foundation", що дозволяє організовувати як

аудиторне (на комп'ютерах лабораторії), так і дистанційне (на домашніх комп'ютерах студентів) практичне вивчення основних інформаційних технологій даної платформи IoT.

Ядро платформи "TWF" 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 "TWF" виконується на основі постачених разом з ядром універсальних шаблонів об'єктів, датчиків, процесів, інтерфейсів. Розробка IoT-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 "TWF" графічному редакторі, що суттєво скорочує трудомісткість розробки IoT-додатків.

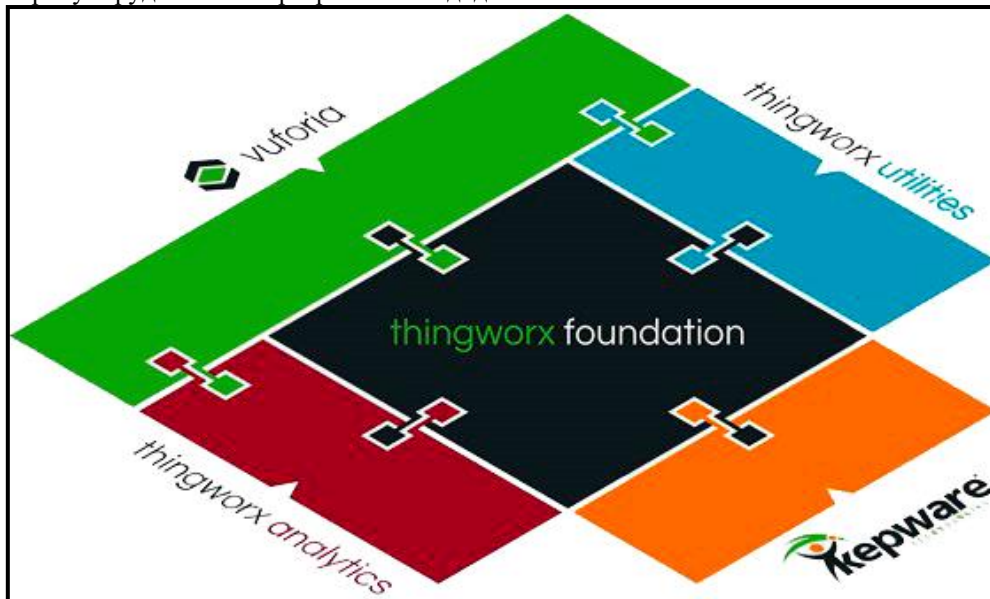


Рисунок 1 – Архітектура платформи "ThingWorx Foundation"

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 "TWF" 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 "TWF" 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 даного сервера 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 "TWF". Розглянута модульна, масштабована, здатна до конфігурування під задачі замовника структура платформи "TWF" дозволяє виконувати проекти по цифровій трансформації сучасного виробництва практично будь-якої розмірності та складності.

Тому в лабораторному практикумі масштабування КІСУ "лабораторної імітації навчальної фабрики" доцільно виконувати на основі даної платформи IoT шляхом виконання студентами

різноманітних лабораторних завдань з практичного застосування платформи "TWF" у промислових системах управління:

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

Розглянемо архітектуру КІСУ "лабораторної імітації навчальної фабрики", яку студенти можуть створювати в ході поетапного дослідження застосування платформи "TWF" для інтеграції промислових систем управління з ІоТ (рис. 2). В цій архітектурі можна виділити такі рівні:

- рівень технологічних процесів (ТО №1 - ТО №3, настільний спеціалізований стенд №1);
- рівень контролерних засобів (ПЛК 1 – ПЛК 3);
- рівень операторського управління (АРМ 1 – АРМ 3, панель оператора VIPA);
- рівень управління виробництвом (АРМ 4, АРМ 5);
- серверний рівень (Industrial SQL server, IoT server);
- "хмарний" рівень (ThingWorx Foundation).

На комп'ютері, що виконує функцію "IoT server", встановлюється комунікаційна платформа "KEPServerEX" та агент "IoT Gateway". "Хмарний" рівень утворюється сервісами платформи "TWF" ("Big Data", "Analytics") та користувацькими додатками, створеними на цій платформі. Усі рівні, крім нижчого та верхнього, обмінюються інформацією через промислову мережу Ethernet. На трьох ПК операторів (АРМ 1 – АРМ 3) встановлені OPC-сервери фірми "VIPA" (OPCСервер1 – OPCСервер3) та SCADA "Trace Mode 6". В панелі оператора VIPA встановлена SCADA "Movicon 11". На ПК рівня управління виробництвом (АРМ 4, АРМ 5) встановлені економічні модулі "T-Factory 6", за допомогою яких реалізовані дві функції – "MES-1" (АРМ 4) та "MES-2" (АРМ 5). Між двома верхніми рівнями використовується мережа Internet.

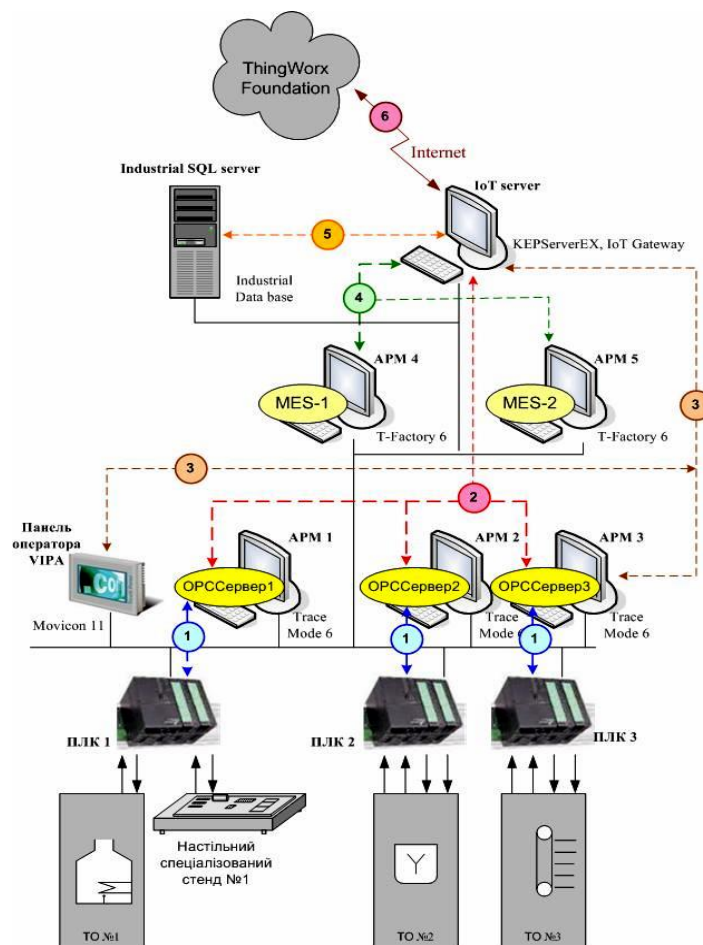


Рисунок 2 – Архітектура КІСУ з інтеграцією промислових систем управління з ІоТ платформи "TWF"

Використання трьох OPC-серверів (OPCСервер1-OPCСервер3) та багаторівневої системної архітектури дозволяє студентам на практиці вивчати усі можливі застосування платформи "TWF" для:

- інтеграції промислових контролерів ПЛК1-ПЛК3 через відповідні OPC-сервери (OPCСервер1-OPCСервер3) з іншими "інтелектуальними" об'єктами системи через комунікаційну платформу "KEPServerEX" (потіки даних 1 та 2);
- інтеграції програм рівня операторського управління (SCADA/HMI) з іншими "інтелектуальними" об'єктами системи через комунікаційну платформу "KEPServerEX" (потік даних 3);
- інтеграції програм рівня управління виробництвом (MES) з іншими "інтелектуальними" об'єктами системи через комунікаційну платформу "KEPServerEX" (потік даних 4);
- інтеграції промислової бази даних реального часу (Industrial Data base) з іншими "інтелектуальними" об'єктами системи через комунікаційну платформу "KEPServerEX" (потік даних 5);
- інтеграції "інтелектуальних" об'єктів або всієї системи управління в цілому з сервісами або додатками платформи "TWF" через комунікаційну платформу "KEPServerEX" та агент "IoT Gateway" (потік даних 6).

Вивчати перелічені застосування платформи "TWF" доцільно протягом кількох курсів та на різних навчальних дисциплінах, тобто поетапно, що забезпечуватиме наскрізну практичну підготовку, коли складність навчальних завдань поступово зростає, а отримані на попередніх етапах результати використовуються студентами як вихідні для виконання наступних навчальних завдань (рис. 3).



Рисунок 3 – Схема організації наскрізного практичного вивчення інформаційної технології ІоТ

Як видно з рисунку, спочатку на дисципліні "Технічні засоби автоматизації" за фронтальним методом вивчаються основи програмування промислових контролерів. В наступному семестрі в рамках дисципліни "Проектування систем автоматизації" вивчаються застосування промислових контролерів та програм SCADA для побудови АСУТП (рівень операторського управління). Паралельно в рамках дисципліни "Інтегровані системи управління" вивчається застосування технології OPC в якості універсального інформаційного містка між прикладними програмами контролерів (рівень контролерного управління) та програми SCADA (рівень операторського управління). Також в рамках дисципліни "Інтегровані системи управління" вивчається і застосування технології OPC в якості універсального інформаційного містка між програмами SCADA (рівень операторського управління) та програмами MES та локальними базами даних (рівень управління виробництвом). Вивчення інформаційної технології ІоТ продовжується в рамках дисципліни "Стандарти та проектування комп'ютерно-інтегрованих систем управління", коли вивчається застосування локального ІоТ сервера (серверний рівень) та «хмарних» сервісів платформи "TWF" («хмарний» рівень) для інтеграції АСУТП та MES, розроблених студентами на попередніх етапах вивчення, з ІоТ-додатками, реалізованими на платформі "TWF".

Розглянемо тепер архітектуру КІСУ "лабораторної імітації навчальної фабрики", яку студенти можуть створювати в ході поетапного дослідження застосування платформи "TWF" для реалізації людино-машинних інтерфейсів (ЛМІ) систем управління виробництвом (рис. 4).

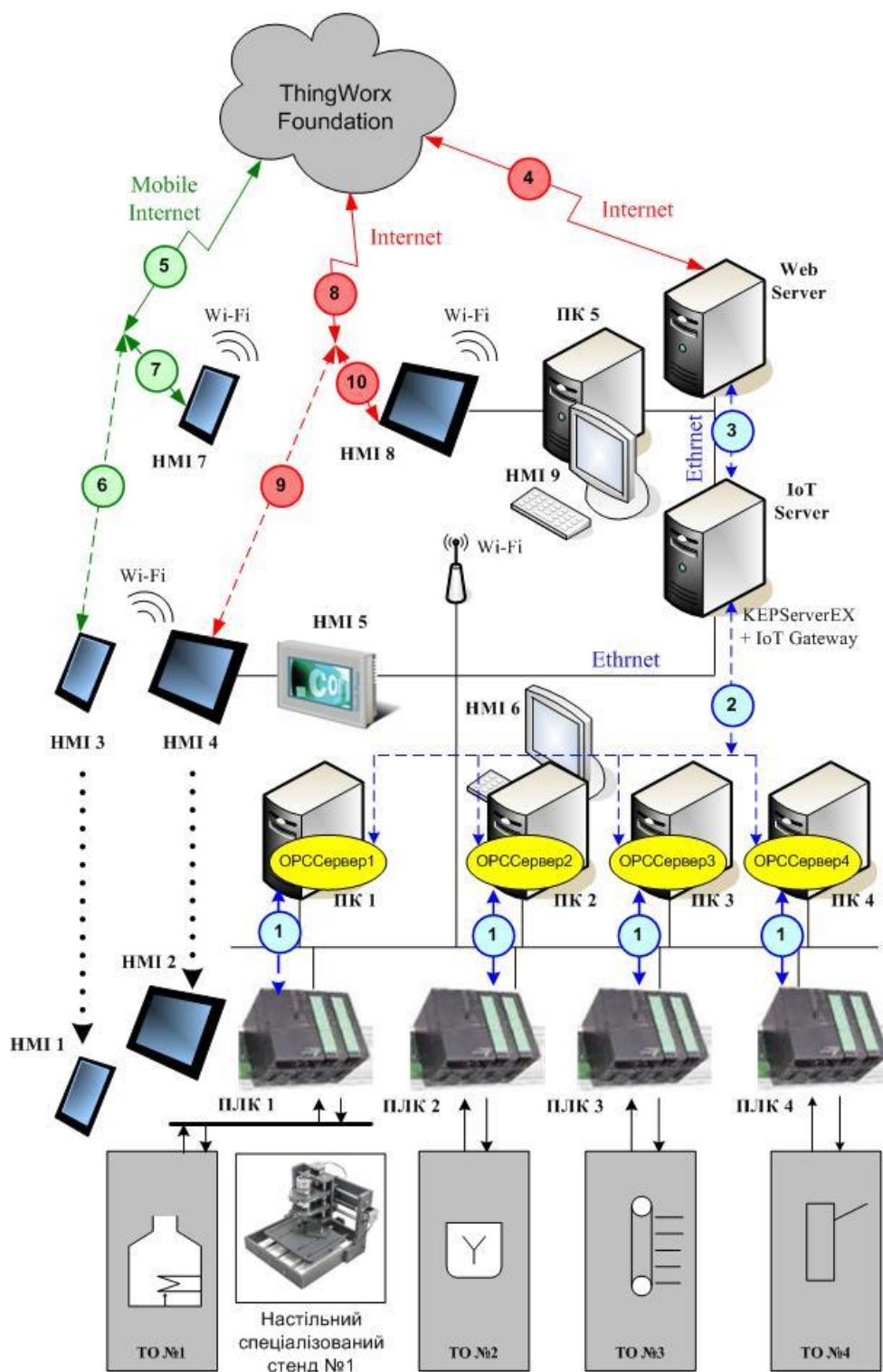


Рисунок 4 – Архітектура КІСУ з реалізацією ЛМІ систем управління на платформі "TWF"

В цій архітектурі також можна виділити ті ж самі рівні КІСУ, що і на рис. 2, проте їх наповнення дещо інше. Рівень технологічних та технічних процесів утворюється чотирма фізичними моделями ТО №1 – ТО №4 та настільним спеціалізованим стендом №1 "Фрезерний верстат з ЧПУ". "Хмарний" рівень

утворюється віддаленими сервісами платформи "TWF", а саме: "Mashup Builder", "ThingWorx Utilities", "ThingWorx Analytics", "ThingWorx Studio", "Manufacturing Apps" ("ThingWorx Controls Advisor", "ThingWorx Asset Advisor"), які виконуються на сервері компанії PTC.

Така архітектура лабораторної КІСУ дозволить студентам, використовуючи існуючі "хмарні" сервіси платформи "TWF", на практиці реалізовувати ЛМІ для різних категорій працівників "навчальної фабрики":

- ЛМІ для робочих-наладчиків, робочих-ремонтників та інженерів з технічного обслуговування обладнання на основі або мобільних пристроїв (НМІ 1, смартфон), або бездротових переносних пристроїв (НМІ 2, планшет);

- ЛМІ для інженерів з систем управління та чергових операторів на основі або мобільних пристроїв (НМІ 3, смартфон, рис. 5), або бездротових переносних пристроїв (НМІ 4, планшет), або стаціонарних мережних пристроїв (НМІ 5, панель оператора; НМІ 6, ПК оператора);

- ЛМІ для працівників різних служб оперативного управління виробничими процесами цеху (відділ постачання матеріальних та енергетичних ресурсів, економічний відділ, відділ кадрів, відділ технічного обслуговування і ремонту, відділ контрольно-вимірювальних приладів і автоматики, бухгалтерія і т.п.) на основі або мобільних пристроїв (НМІ 7, смартфон), або бездротових переносних пристроїв (НМІ 8, планшет), або стаціонарних мережних пристроїв (НМІ 9, ПК службовців).

При цьому для реалізації переносних ЛМІ на базі планшетів застосовується бездротовий Wi-Fi зв'язок, а для ЛМІ на базі смартфонів – або бездротовий Wi-Fi зв'язок, або мобільний Інтернет (Mobil Internet).

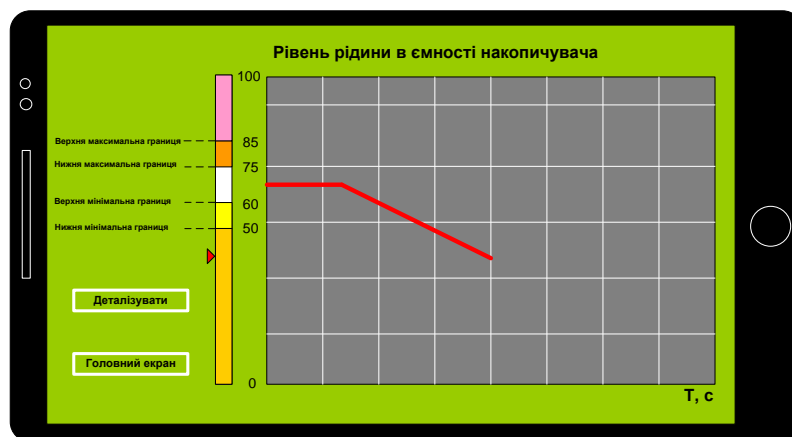


Рисунок 5 – Приклад реалізації мобільного ЛМІ чергового оператора АСУТП

В ході поетапного практичного вивчення даної інформаційної технології ПоТ студенти зможуть реалізовувати різноманітні ЛМІ, що вирішують такі основні завдання КІСУ:

- віддалений моніторинг, діагностика і прогнозування стану технологічного та технічного обладнання, встановленого на виробничих ділянках цеху (НМІ 1, потоки даних 1-2-3-4-5-6; НМІ 2, потоки даних 1-2-3-4-8-9; НМІ 7, потоки даних 1-2-3-4-5-7; НМІ 8, потоки даних 1-2-3-4-8-10); НМІ 9, потоки даних 1-2-3-4-3);

- виконання на виробничих ділянках ремонту та налаштування технологічного та технічного обладнання цеху (НМІ 1, потоки даних 1-2-3-4-5-6; НМІ 2, потоки даних 1-2-3-4-8-9);

- віддалене управління, випробовування і налаштування технологічного та технічного обладнання, встановленого на виробничих ділянках цеху (НМІ 1, потоки даних 1-2-3-4-5-6; НМІ 2, потоки даних 1-2-3-4-8-9; НМІ 7, потоки даних 1-2-3-4-5-7; НМІ 8, потоки даних 1-2-3-4-8-10; НМІ 9 (потоки даних 1-2-3-4-3);

- оперативне управління технологічними та технічними процесами виробничих ділянок цеху (НМІ 3, потоки даних 1-2-3-4-5-6; НМІ 4, потоки даних 1-2-3-4-8-9); НМІ 5, НМІ 6, потоки даних 1-2-3-4-3);

- віддалений контроль ступеня завантаження технологічного та технічного обладнання (НМІ 7, потоки даних 1-2-3-4-5-7; НМІ 8, потоки даних 1-2-3-4-8-10; НМІ 9, потоки даних 1-2-3-4-3);

- віддалений облік продуктивності технологічного обладнання (НМІ 7, потоки даних 1-2-3-4-5-7; НМІ 8, потоки даних 1-2-3-4-8-10; НМІ 9, потоки даних 1-2-3-4-3);

- віддалений облік ресурсів, що витрачає технологічне та технічне обладнання (НМІ 7, потоки даних 1-2-3-4-5-7; НМІ 8, потоки даних 1-2-3-4-8-10; НМІ 9 (потоки даних 1-2-3-4-3));
- контроль показників якості виробництва (НМІ 7, потоки даних 1-2-3-4-5-7; НМІ 8, потоки даних 1-2-3-4-8-10; НМІ 9 (потоки даних 1-2-3-4-3)).

Вивчати перелічені застосування інформаційної технології платформи ІоТ студенти повинні також поетапно, протягом кількох курсів та на різних навчальних дисциплінах, як це показано на рис. 3.

Розглянемо архітектуру КІСУ "лабораторної імітації навчальної фабрики" (рис. 6), яку студенти можуть створювати в ході поетапного дослідження застосування платформи "TWF" для реалізації машинно-машинної взаємодії (M2M) в системі управління виробництвом.

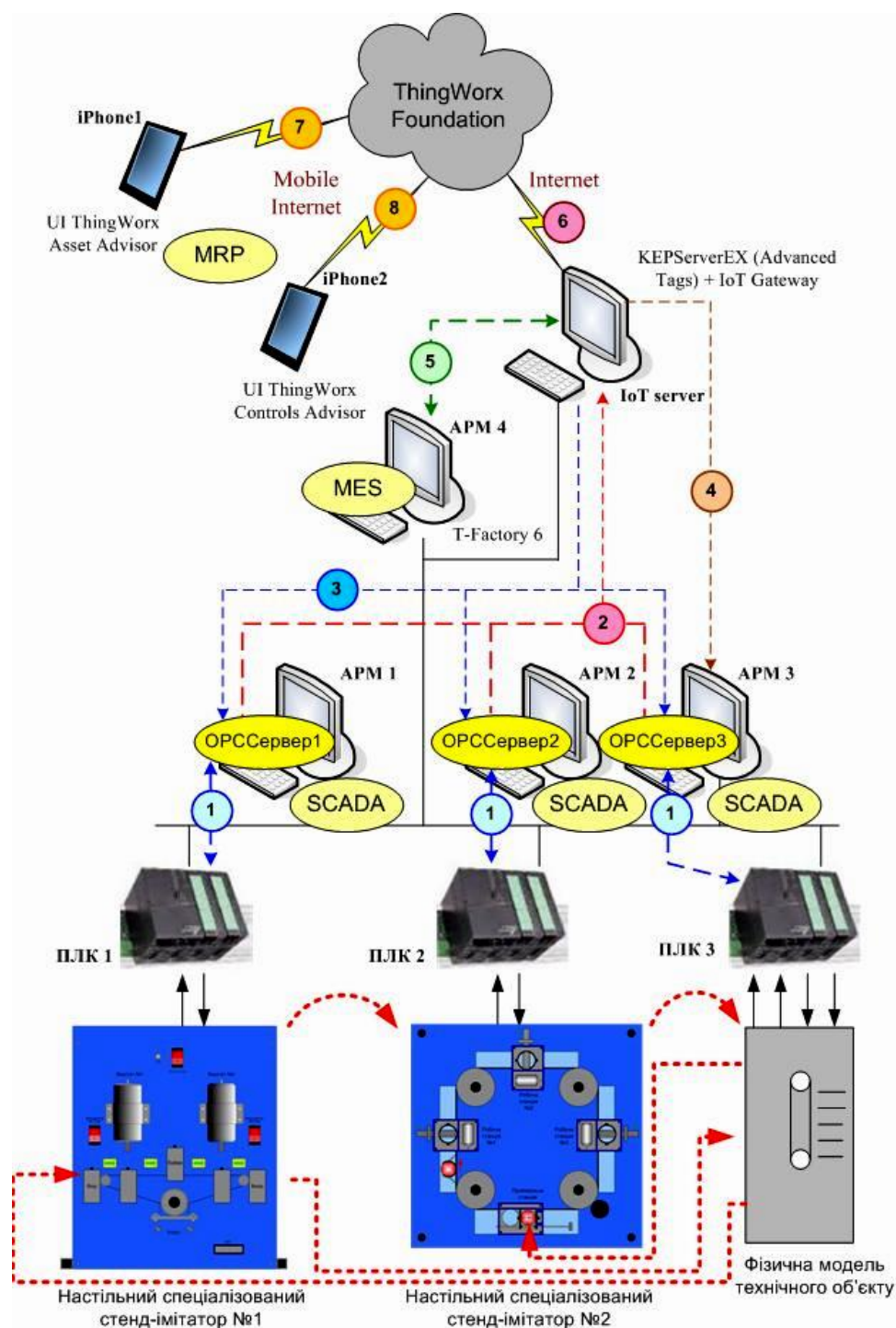


Рисунок 6 – Архітектура КІСУ для реалізації M2M на платформі "TWF"

В цій архітектурі також можна виділити такі рівні управління:

- 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 Foundation").

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 "TWF", 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 платформи "TWF", 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 реалізувати такі машино-машинні взаємодії (M2M):

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

На рис. 7 показана більшість з тих M2M взаємодій, які студенти можуть реалізувати на практиці для випадку, коли у виробничому процесі "навчальної фабрики" виникає та чи інша нештатна ситуація. Наприклад, у разі зниження продуктивності або повної зупинки попереднього виробничого процесу на вході виробничої системи АВЛ №1 (автоматизована виробнича лінія, роботу якої відтворює стенд-імітатор №1) може виникнути дефіцит деталей D1, тому ця система повинна через взаємодію M2M.3 сповістити про це систему управління автоматизованого промислового складу (АПС), яка, в свою чергу, повинна зі своїх запасів почати видавати на вхід АВЛ №1 потрібний запас деталей D1.

У разі аварійної зупинки виробничої системи АВЛ №1 може виникнути дефіцит деталей D2 на вході виробничої системи АВЛ №2 (автоматизована виробнича лінія, роботу якої відтворює стенд-імітатор №2), тому система АВЛ №1 повинна через взаємодію M2M.3 сповістити про аварію систему управління АПС, яка, в свою чергу, повинна зі своїх запасів почати видавати на вхід АВЛ №2 потрібний запас деталей D2.

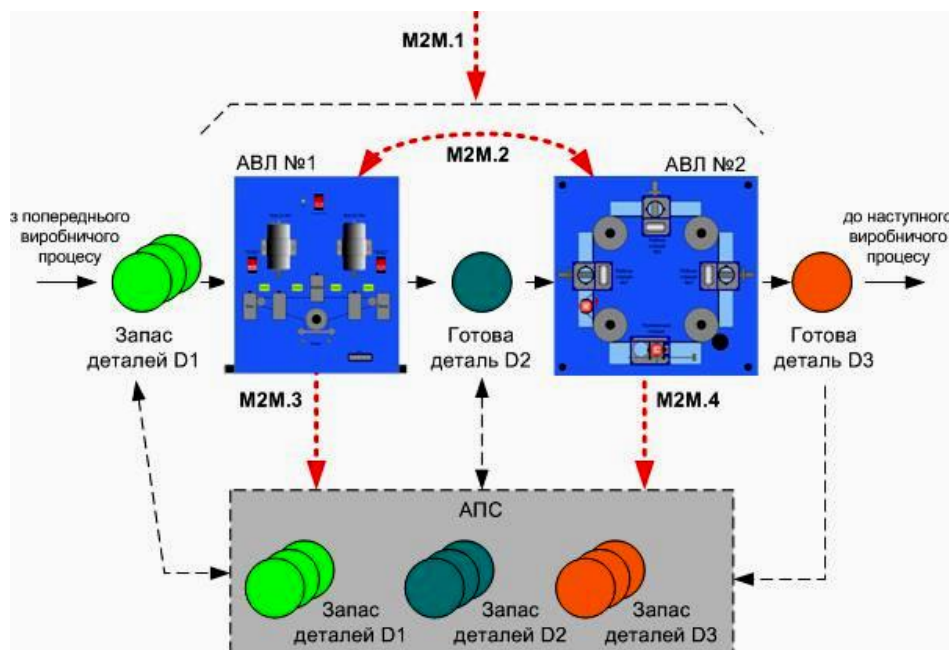


Рисунок 7 – Організація M2M взаємодій у випадку нештатних ситуацій у виробничому процесі

У разі аварійної зупинки виробничої системи АВЛ №2 на виході системи АВЛ №1 буде створюватися запас готових деталей D2, який постійно зростатиме, тому система АВЛ №2 повинна через взаємодію M2M.4 сповістити про аварію систему управління АПС, яка, в свою чергу, повинна почати приймати на склад деталі D2 з виходу АВЛ №1, збільшуючи свій запас цих деталей.

У разі аварійної зупинки наступного виробничого процесу на виході системи АВЛ №2 створюється запас деталей D3, який постійно зростатиме, тому система АВЛ №2 повинна через взаємодію M2M.4 сповістити про це систему управління АПС, яка, у свою чергу, повинна почати приймати на збереження деталі D3 з виходу АВЛ №2, створюючи на складі їх аварійний запас.

У разі порушення рівноваги між середньою продуктивністю виробничої системи АВЛ №1 та виробничої системи АВЛ №2 обидві системи повинні, по-перше, сповістити про це систему управління АПС через взаємодії M2M.3 та M2M.4, а, по-друге, сповістити одна одну через взаємодію M2M.2. В результаті цих взаємодій:

- або виробничі системи АВЛ №1 та АВЛ №2 корегують свою продуктивність при активній M2M.2 (та, що працює продуктивніше, зменшує швидкість роботи);
- або промисловий склад приймає на збереження зайві деталі D2 з виходу системи АВЛ №1 при активній M2M.3 (якщо АВЛ №1 працює продуктивніше ніж АВЛ №2);
- або АПС відпускає зі своїх запасів деталі D2 на вхід системи АВЛ №2 при активній M2M.4 (якщо АВЛ №2 працює продуктивніше ніж АВЛ №1).

У разі появи рекомендацій від аналітичної системи верхнього рівня (через M2M.1) про необхідність примусової зупинки для профілактичного ремонту чи обслуговування однієї з систем АВЛ №1 чи АВЛ №2 решта систем повинна виконувати ті дії, які вже описані вище для випадку таких аварійних зупинок.

Вивчати на практиці описане застосування платформи "TWF" студенти також повинні поетапно, на протязі двох старших курсів та в рамках кількох професійних та спеціальних дисциплін, як це було показано на рис. 3.

Розглянемо архітектуру КІСУ "лабораторної імітації навчальної фабрики" (рис. 8), яку студенти можуть створювати в ході поетапного дослідження застосування платформи "TWF" для реалізації аналітичної обробки даних в системі управління виробництвом. В цій архітектурі також можна виділити такі рівні управління:

- рівень технологічних процесів (ТО №1 – ТО №3, настільний спеціалізований стенд №1);
- рівень контролерних засобів (ПЛК 1 – ПЛК 4);
- рівень операторського управління (АРМ 4 – АРМ 4);
- рівень управління виробництвом (АРМ 5, iPhone 1, iPhone 2);

- серверний рівень ("IoT server");
- "хмарний" рівень ("ThingWorx Foundation").

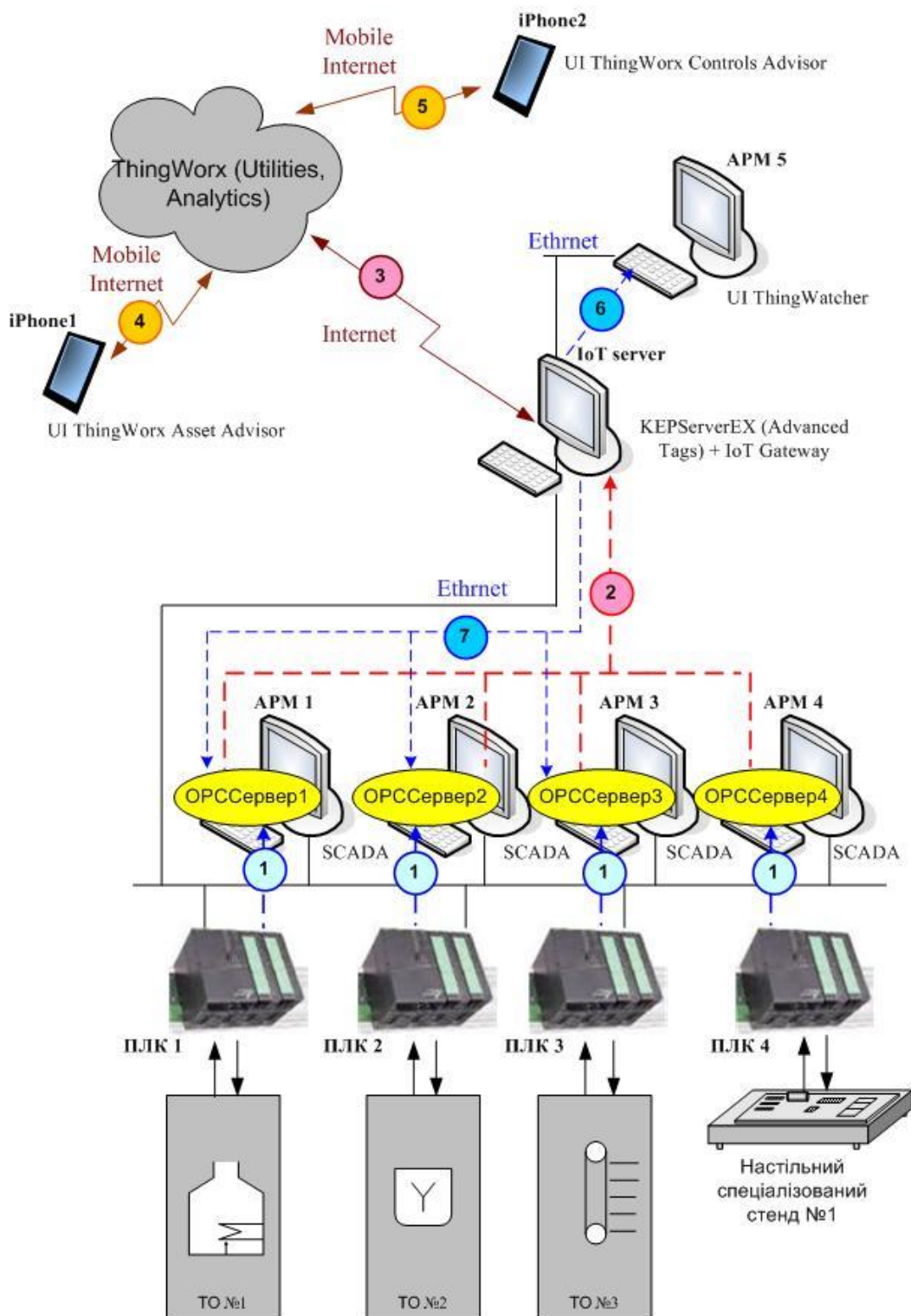


Рисунок 8 – Архітектура КІСУ для реалізації аналітичної обробки даних на платформі "TWF"

На комп'ютері, що виконує функцію "IoT server", встановлюється комунікаційна платформа "KEPServerEX" зі створеними Advanced Tags, а також агент "IoT Gateway". "Хмарний" рівень утворюється серверним модулем "ThingWorx Utilities", а саме, "ThingWorx Controls Advisor" та

"ThingWorx Asset Advisor", та серверним модулем ThingWorx Analytics, а саме, "ThingWatcher". Усі рівні, крім нижчого та верхнього, обмінюються інформацією через промислову мережу Ethernet. На трьох ПК операторів (АРМ 1 - АРМ 3) встановлені OPC-сервери фірми "VIPA" (OPCСервер1, OPCСервер2, OPCСервер3) та SCADA "Trace Mode 6", а на ПК АРМ №4 тільки OPC-сервер фірми "VIPA" (OPCСервер4). До мобільних пристроїв "iPhone1" та "iPhone2" завантажуються графічні інтерфейси користувача "хмарних" додатків "ThingWorx Utilities", а саме, "UI ThingWorx Asset Advisor" (iPhone1) та "UI ThingWorx Controls Advisor" (iPhone2), а до ПК АРМ 5 завантажується графічний інтерфейс користувача "хмарного" додатка "ThingWorx Analytics", а саме, "UI ThingWatcher". Між серверним рівнем та "хмарним" рівнем використовується звичайна мережа Internet, а між "хмарним" рівнем та мобільними пристроями – мобільний Інтернет.

Описана архітектура КІСУ "лабораторної імітації навчальної фабрики" дозволяє студентам на практиці вивчати такі застосування платформи "TWF" для аналітичної обробки даних в промислових системах управління:

- аналітична обробка потоків даних від датчиків ТО №1 – ТО №3, що передаються через OPC-сервери (OPCСервер1 – OPCСервер3) до відповідних Advanced Tags комунікаційної платформи "KEPServerEX" (потіки даних 1- 2);
- аналітична обробка потоку даних від настільного спеціалізованого стенду №1, що передається через OPC-сервер (OPCСервер4) до відповідних Advanced Tags комунікаційної платформи "KEPServerEX" (потік даних 1 - 2);
- аналітична обробка даних для організації віддаленого моніторингу стану технологічних об'єктів чи сигналів настільного спеціалізованого стенду №1з використанням комунікаційної платформи "KEPServerEX", агента "IoT Gateway" та "хмарного" додатку "ThingWorx Asset Advisor" (потік даних 1– 2 – 3 – 4);
- аналітична обробка даних для організації віддаленого управління роботою технологічних об'єктів з використанням комунікаційної платформи "KEPServerEX", агента "IoT Gateway" та "хмарного" додатку "ThingWorx Controls Advisor" (потік даних 1– 2 – 3 – 5 – 3 – 7);
- аналітична обробка даних від датчиків ТО №1 – ТО №3 чи настільного спеціалізованого стенду №1 для побудови відповідних прогнозів з використанням комунікаційної платформи "KEPServerEX", агента "IoT Gateway" та "хмарного" додатку "ThingWorx Asset Advisor" (потік даних 1 – 2 – 3 – 3 – 6).

Для прикладу на рис. 9 показаний загальний принцип організації аналітичної обробки даних на основі Advanced Tags (AT) комунікаційної платформи "KEPServerEX".

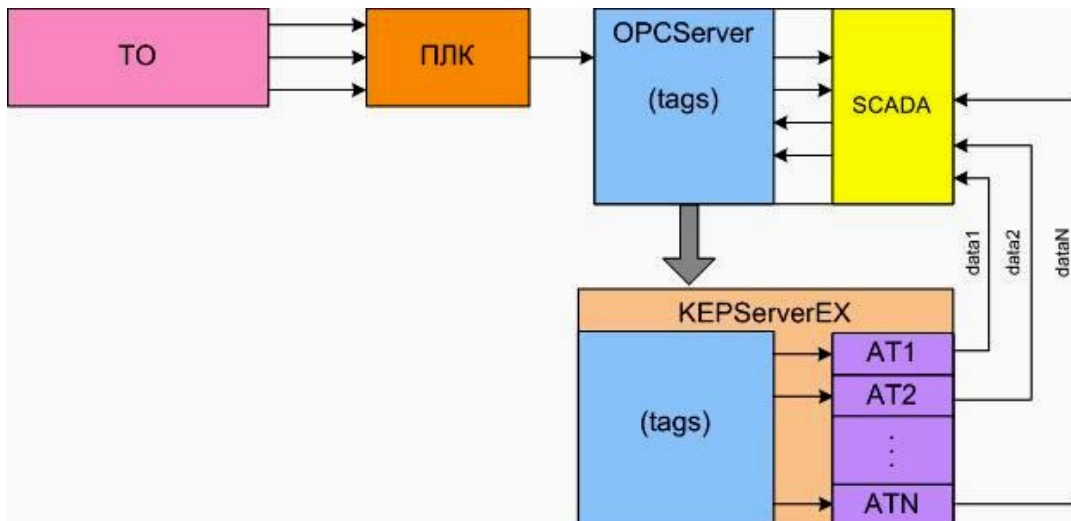


Рисунок 9 – Реалізація аналітичної обробки даних за допомогою "Advanced Tags"

Різноманітні вихідні електричні сигнали з технологічного об'єкта ТО вводяться до відповідного промислового контролера ПЛК, а потім передаються в цифровій формі до значень тегів (tags) відповідного OPC-сервера (OPCServer). До тегів відповідних OPC-серверів додаються також дані з прикладної програми SCADA. Комунікаційна платформа KEPServerEX створює IoT сервер, теги якого читають дані з відповідних тегів OPC-сервера (OPCServer). Крім цих тегів в даному сервері користувач

може створити теги типу "Advanced Tags" (AT1, AT2, ... ATN), які в якості вхідних значень використовують вихідні значення звичайних тегів сервера (tags). Кожний з "Advanced Tags" реалізує певну аналітичну обробку вхідних даних, яку задає користувач. В результаті на виході кожного такого тегу формується вихідне значення ("data1", "data1", ..., "dataN"), яке відповідає потрібному характеру обробки. Вихідні значення тегів AT1 – ATN зчитуються відповідними OPC-клієнтами, наприклад, прикладною програмою SCADA, яка може використати ці додаткові дані для поліпшення процесу управління технологічним процесом ТО.

В ході практичного вивчення даної інформаційної технології ІоТ студенти можуть реалізовувати різноманітну за характером аналітичну обробку даних в КІСУ. Наприклад, на рис. 10 показана схема аналітичної обробки даних, пов'язаних з технологічним об'єктом ТО №2 "Промисловий хімічний реактор".

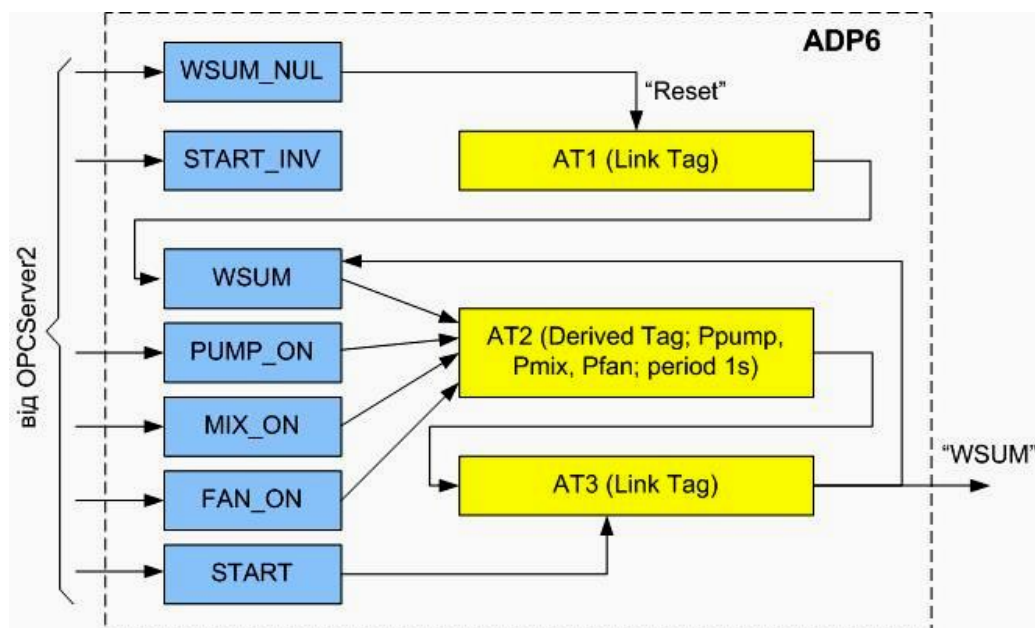


Рисунок 10 – Схема аналітичного розрахунку загальних витрат електроенергії в ТО №2

Зліва показані звичайні теги сервера "KEPServerEX", які пов'язані з відповідними тегами OPC-сервера OPCServer2, що встановлений на ПК АРМ 2. Теги "WSUM_NUL", "START_INV" та "START" записуються в OPC-сервер прикладною програмою SCADA ("START" – логічна змінна пуску роботи системи управління, "START_INV" – інверсна логічна змінна пуску системи управління, "WSUM_NUL" – короткий одиничний імпульс, що формується по передньому фронту змінної "START"). Теги "PUMP_ON", "MIX_ON" та "FAN_ON" записуються в OPC-сервер з прикладної програми контролера ("PUMP_ON" – логічний сигнал вмикання насоса, "MIX_ON" – логічна змінна вмикання змішувача, "FAN_ON" – логічна змінна вмикання нагрівача). Для розрахунку загальних витрат рідини "WSUM" в сервері KEPServerEX створюються три "Advanced Tags": два типу "Link Tag" (AT1, AT3) та один типу "Derived Tag" (AT2). Тег AT1 призначений для запису нуля (операція скидання "Reset") в тег "WSUM" при пуску системи до роботи. Тег AT3 призначений для запуску або зупинення розрахунків (коли тег "START" приймає значення логічного "нуля", то розрахунок зупиняється). Тег AT2 повинен перераховуватися з періодом 1 с, тоді в тег "FSUM" кожену секунду буде додаватися потужність тих пристроїв, які в даний момент ввімкнені ("Pump" – потужність насоса, "Pmix" – потужність двигуна змішувача, "Pfan" – потужність нагрівача). Результат аналітичної обробки "WSUM" може зчитуватися прикладною програмою SCADA і, наприклад, виводитись на графічний інтерфейс оператора.

Також шляхом подальшої аналітичної обробки вмісту тегу "WSUM" можна розрахувати собівартість одиниці (одного літру) готової продукції хімічного реактора, а також вартість одиниці електричної енергії (W_PRICE).

Вивчати на практиці описану інформаційну технологію платформи "TWF" студенти також повинні поетапно, протягом кількох старших курсів та на різних спеціальних та професійно-орієнтованих навчальних дисциплінах, як це було показано на рис. 3.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень була знайдена така нова форма організації лабораторного практикуму на основі багатофункціональної комп'ютеризованої лабораторії, 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 управління виробництвом на основі промислового Інтернету речей, а також дає можливість навчальному закладу просто й дешево виконувати його модернізацію чи адаптацію до неодмінних подальших вдосконалень програмно-технічних засобів та інформаційних технологій автоматизації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Прогулка по фабрике будущего [Електронний ресурс]: Ua.Automation.com. – Режим доступу: <http://ua.automation.com/content/progulka-po-fabrike-budushhego>.
2. Борисов М. Проблемы реализации промышленных приложений Интернета вещей [Електронний ресурс]: Открытые системы. – 2017. - №4. – Режим доступу: <https://www.osp.ru/os/2017/04/13053376/>.
3. Воробієнко П. Компетентнісний підхід у вищій освіті — від теорії до практики / П. Воробієнко, А. Ложковський // Вища школа. – 2016. – №6. – С. 13–20.
4. Чорний О. П. Особливості процесу підготовки фахівців інженерних спеціальностей/ О. П. Чорний, Ю. В. Лашко, Т. П. Коваль // Інженерні та освітні технології в електротехнічних і комп'ютерних системах. – 2013. – № 2. – С. 9-19 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eetecs.kdu.edu.ua>.
5. Загірняк М.В. Віртуальні лабораторні системи і комплекси – нова перспектива наукового пошуку і підвищення якості підготовки фахівців з електромеханіки / М.В. Загірняк, Д.Й. Родькін, О.П. Чорний // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КДПУ. – 2009. – Вип. 2/2009 (6). – С. 8–12.
6. Перекрест А. Л. Реалізація завдань цифрової обробки сигналів з використанням віртуальних та фізичних лабораторних стендів / А. Л. Перекрест, Г. О. Гаврилець, В. В. Снігур // Інженерні та освітні технології в електротехнічних і комп'ютерних системах. – 2014. – № 2 (6). – С. 8-19 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eetecs.kdu.edu.ua>.
7. Чермалых А. В. Использование специализированных компьютерных стендов для постановки виртуальных лабораторных работ / А. В. Чермалых, И. Я. Майданский // Інженерні та освітні технології. – 2015. – № 3 (11). – С. 175-177.
8. Загірняк М.В. Інформаційно-комунікаційні технології у підготовці фахівців технічних спеціальностей / М.В. Загірняк, О.П. Чорний // Інженерна освіта. – 2013. – № 1. – С. 7–19.
9. Working and learning [Електронний ресурс]: Festo Corporate. - Режим доступу: <https://www.festo.com/group/ru/cms/10968.htm>.
10. 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/>.
11. 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>.
12. 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>.
13. 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>.
14. 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>.
15. Папінов В.М. Багатофункціональна комп'ютеризована лабораторія для наскрізної практичної підготовки студентів спеціальності 151 / В.М. Папінов, Я.А. Кулик // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2018. - №2(36). – С. 89-104.
16. Офіційний сайт компанії РТС [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.ptc.com/>.

REFERENCES

1. A walk through the factory of the future "Electronic resource": Ua.Automation.com. - Access mode: <http://en.automation.com/content/progulka-po-fabrike-budushhego>.
2. Borisov M. Problems of Implementation of Industrial Applications of the Internet of Things лектронElectronic Resource□: Open Systems. - 2017. - №4. - Access mode: <https://www.osp.ru/os/2017/04/13053376/>.
3. Vorobienko P. Competence approach in higher education - from theory to practice / P. Vorobienko, A. Lozhkovsky // Higher school. - 2016. - №6. - P. 13–20.
4. Chornyi OP Features of the process of training specialists in engineering specialties / AP Chornyi, Yu. V. Lashko, TP Koval // Engineering and educational technologies in electrical and computer systems. - 2013. - № 2. - P. 9-19 "Electronic resource". - Access mode: <http://eetecs.kdu.edu.ua>.
5. Zagirnyak MV Virtual Laboratory Systems and Complexes - A New Perspective of Scientific Search and Improvement in the Training of Electromechanics Specialists Zagirnyak, D.Y. Rodkin, OP Black // Electromechanical and energy-saving systems. - Kremenchuk: KSPU. - 2009. - Vip. 2/2009 (6). - pp. 8-12.
6. Perekrest AL Realization of tasks of digital signal processing using virtual and physical laboratory stands / AL Perekrest, GA Gavrilets, VV Snegur // Engineering and educational technologies in electrical and computer systems. - 2014. - № 2 (6). - pp. 8-19 "Electronic resource". - Access mode: <http://eetecs.kdu.edu.ua>.
7. Chermalih AV The use of specialized computer stands for the production of virtual laboratory works / AV Chermalih, I. Ya. Maidanskiy // Engineering and Educational Technologies. - 2015. - № 3 (11). - P. 175-177.
8. Zagirnyak MV Information and communication technologies in the preparation of specialists in technical specialties / M.V. Zagirnyak, OP Black // Engineering education. - 2013. - № 1. - P. 7-19.
9. Working and learning Electronic resource: Festo Corporate. - Access mode: <https://www.festo.com/group/en/cms/10968.htm>.
10. An Integrated Learning System for Industry 4.0 "Online Resource": Festo Didactic. - Access Mode: <https://www.festo-didactic.com/int-en/highlights/qualification-for-industry-4.0/project-workstation-i4.0-ср-lab/>.
11. National University of Food Technologies, Kiev лектронElectronic Resource□: Examples of Equipment: Universities Support: Services: SV ALTERA. - Access mode: <http://www.svaltera.ua/services/high-schools/examples/6138.php>.
12. National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" нийElectronic Resource□: Examples of equipment: Support for higher education institutions: Services: SV ALTERA. - Access mode: <http://www.svaltera.ua/services/high-schools/examples/6144.php>.
13. National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute" пєсупElectronic Resource□: Examples of equipment: Support for higher education institutions: Services: SV ALTERA. - Access mode: <http://www.svaltera.ua/services/high-schools/examples/8006.php>.
14. Odessa National Academy of Food Technologies нийElectronic Resource□: Examples of equipment: Support for higher education institutions: Services: SV ALTERA. - Access mode: <http://www.svaltera.ua/services/high-schools/examples/7161.php>.
15. Papin VM Multifunctional computerized laboratory for end-to-end practical training of specialty students 151 / V.M. Papinov, Ya.A. Kulik // Opto-electronic information-energy technologies / International scientific and technical journal. - 2018. - №2 (36). Pp. 89-104.
16. The official site of RTS "Electronic resource". - Access mode: <https://www.ptc.com/>.

Надійшла в редакцію: 28.05.2019р.

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

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