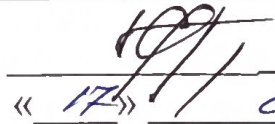


Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

**Бакалаврська кваліфікаційна робота
(у формі проєкту) на тему:**

**«НАВЧАЛЬНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ПРАКТИЧНОГО КУРСУ ДИСЦИПЛІНИ
«ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ»»**

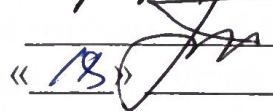
Виконав: студент IV курсу, групи АКІТ-21бз,
спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології

 Павло БОЙКО
« 17 » 06 2025 р.

Керівник: к.т.н., проф. кафедри АІТ

 Віктор МІЗЕРНИЙ
« 18 » 06 2025 р.

Рецензент: проф. каф. КСУ, к.т.н.

 Микола БИКОВ
« 18 » 06 2025 р.

Допущено до захисту:
завідувач кафедри АІТ
Олег БІСІКАЛО

« 19 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ - 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування
Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма Інтелектуальні комп'ютерні системи управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри АІТ

д.т.н., професор Олег БІСІКАЛО

“ 19 ” 06 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Бойко Павлу Олександровичу

1. Тема роботи «Навчальний засіб для практичного курсу дисципліни «Проектування систем автоматизації»

керівник роботи Мізерний Віктор Миколайович, к.т.н., проф.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від « 20 » березня 2025 року № 97 .

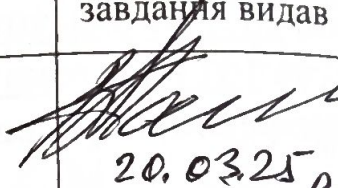
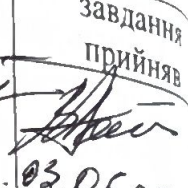
2. Термін подання студентом роботи 10 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальний засіб (НЗ) призначений для застосування у навчальному процесі вищого навчального закладу з підготовки фахівців зі спеціальності 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка"; НЗ повинен створювати умови для індивідуальної когнітивної діяльності здобувачів при рішенні реальних проектних задач в рамках дисципліни «Проектування систем автоматизації», сприяти більш глибокому вивченню ними теоретичного матеріалу даної навчальної дисципліни, а також давати можливість сформувати у здобувачів відповідні професійно-орієнтовані практичні уміння та навички проектування реальних промислових систем автоматизації (СА) в рамках їх життєвого циклу (ЖЦ); НЗ повинен будуватися на основі існуючих лабораторних програмно-технічних моделей технологічних/технічних процесів (ТП), організаційній імітаційній моделі «віртуальне виробництво» та обґрунтовано вибраного програмного інструменту Siemens OPcenter.

4. Зміст текстової частини (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Техніко-економічне обґрунтування кваліфікаційного проекту. 2) Проектування функціональної інтеграції лабораторної ІАС. 3) Проектування інформаційної інтеграції лабораторної ІАС. 4) Проектування програмної інтеграції лабораторної ІАС

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1) Архітектурна модель активів навчального засобу. Плакат демонстраційний 2) Лабораторна ІАС для рецептурного управління виробництвом. Схема функціональної структури. 3) Лабораторна ІАС для рецептурного управління виробництвом. Графова модель інформаційних потоків

6. Консультанти розділів проєкту

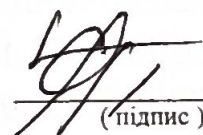
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	Папінов В.М., професор кафедри АІТ	 20.03.25 р.	 03.06.25

7. Дата видачі завдання 20.03.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

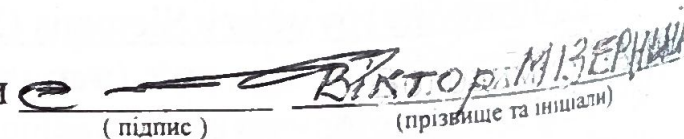
№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи (у формі проєкту)	Термін виконання		Прий
		початок	закінчення	
1	Техніко-економічне обґрунтування кваліфікаційного проєкту	03.10.2024	09.10.2024	
2	Розробка архітектурної моделі активів навчального засобу	12.03.2025	29.03.2025	
3	Розробка технічного завдання на кваліфікаційне проєктування	01.04.2025	26.04.2025	
4	Проектування функціональної інтеграції лабораторної ІАС	29.04.2025	10.05.2025	
5	Проектування інформаційної інтеграції лабораторної ІАС	13.05.2025	24.05.2025	
6	Проектування програмної інтеграції лабораторної ІАС	27.05.2025	31.05.2025	
7	Перевірка ПЗ на відповідність вимогам	03.06.2025	07.06.2025	
8	Попередній захист, доопрацювання, та рецензування БКР	10.06.2025	15.06.2025	
9	Захист БКР	16.06.2025	23.06.2025	

Здобувач


(підпис)

Павло БОЙКО
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Віктор МІЗЕРНИЙ
(прізвище та ініціали)

Анотація

Бакалаврська кваліфікаційна робота у формі проекту складається з 75 сторінок формату А4, на яких є 19 рисунків, 3 таблиць, список використаних джерел містить 35 найменувань.

Метою роботи є розробка на основі обґрунтовано вибраного програмного засобу Siemens OPcenter ескізного проектного рішення навчального засобу для практичного опанування бакалаврами спеціальності 174 в рамках дисципліни «Проектування систем автоматизації» методу відображення та обробки цифрового життєвого циклу екземпляру промислової системи автоматизації, що реалізує управління виробничими операціями.

У загальній частині роботи визначено життєвий цикл системи автоматизації, обґрунтовано вибір системи автоматизації для навчального практикуму та інструментів платформи «Siemens OPcenter» для побудови навчального засобу. Також розроблено архітектурну модель активів навчального засобу та технічне завдання для бакалаврської кваліфікаційної роботи. У розрахунково-конструкторській частині роботи спроектовано функціональну, інформаційну та програмну інтеграцію лабораторної інтегрованої системи автоматизації, яка реалізується на навчальному засобі під час проектного практикуму.

Ключові слова: інтегрована система автоматизації, комп'ютеризована навчальна лабораторія, система інструментального проектування

Abstract

Bachelor's qualification work in the form of a project consists of 75 pages of A4 format, which contain 19 figures, 3 tables, the list of used sources contains 35 items.

The purpose of the work is to develop, based on the reasonably selected Siemens OPcenter software tool, a draft design solution for a training tool (TS) for practical mastering by bachelors of specialty 174 within the discipline "Design of automation systems" of the method of displaying and processing the digital life cycle of an instance of an industrial automation system that implements production operations management.

In the general part of the work, the life cycle of the automation system is defined, the justified choice of the automation system for the training workshop and the tools of the "Siemens OPcenter" platform for building the training tool are defined. An architectural model of the training tool assets and a technical task for the bachelor's qualification work are also developed. In the calculation and design part of the work, the functional, information and software integration of the laboratory integrated automation system, which is implemented on the training tool during the design workshop, is designed.

Keywords: integrated automation system, computerized training laboratory, instrumental design system

Зміст

Вступ.....	3
1 Техніко – економічне обґрунтування кваліфікаційного проєкту.....	5
1.1 Означення життєвого циклу промислової системи автоматизації	5
1.2 Вибір екземпляру промислової СА для навчального практикуму	9
1.3 Обґрунтування вибору інструментів Siemens OPCenter	16
1.4 Розробка архітектурної моделі активів навчального засобу	22
2 Проєктування функціональної інтеграції лабораторної ІАС	26
2.1 Організаційна структура інтегрованого автоматизованого управління лабораторним «віртуальним» виробництвом	26
2.2 Функціональна інтеграція для рецептурного управління лабораторним «віртуальним» періодичним виробництвом	30
3 Проєктування інформаційної інтеграції лабораторної ІАС.....	38
4 Проєктування програмної інтеграції лабораторної ІСА	54
4.1 Аналіз програмного забезпечення лабораторних СА рівня «SCADA» .	54
4.2 Програмна інтеграція лабораторної ІСА при використанні хмарних інструментів «OPCenter Execution Process»	55
4.3 Програмна інтеграція лабораторної ІСА при використанні локальних інструментів «OPCenter Execution Process»	60
Висновки	62
Література	63
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу (у формі проєкту).....	67
Додаток Б (обов'язковий) Графічна частина.....	71
Архітектурна модель активів навчального засобу. Плакат демонстраційний	72
Лабораторна ІСА для рецептурного управління виробництвом. Схема функціональної структури	73
Лабораторна ІСА для рецептурного управління виробництвом. Графова модель інформаційних потоків	74
Додаток В (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	75

					08-31.БКР.002.00.000 ПЗ			
		№ докум.						
Розроб.	Бойко П.О.				Навчальний засіб для практичного курсу дисципліни «Проєктування систем автоматизації». Пояснювальна записка	Аркушів		
Перевірю.	Мізерний В.М.							
Реценз.						ВНТУ, гр. АКІТ-216з		
Н. контр.	Овчинников К.В.							
Затверд.	Бісікало О.В.							

Вступ

Архітектурна модель побудови «розумного підприємства» Reference Model for Industrie 4.0 (RAMI 4.0) є уніфікованою архітектурною референтною моделлю, яка забезпечує колективне розуміння стандартів, що створені для реалізації концепції «Industry 4.0» (I4.0) [1-3]. Ця референтна модель, в першу чергу, надає загальну структуру та мову для пояснення та специфікації системної архітектури, що, відповідно, сприяє поліпшенню загального розуміння та системної взаємодії. Тому при створенні перспективних промислових систем автоматизації рівняння на дану референтну модель є надзвичайно корисним, бо вона описує оптимальний каркас для стандартизації відповідних технічних рішень таких систем як для стадії їх розробки, так і для подальших стадій їх інтеграції та практичного використання.

Для цього в моделі RAMI 4.0 існує вісь «Життєвий цикл та потік формування цінності» (Life Cycle and Value Stream) [4], яка відображає згідно зі стандартом ІЕС 62890 життєвий цикл будь-яких об'єктів виробництва, зокрема і систем автоматизації [5]. Така модель життєвого циклу системи автоматизації вводить різницю між типом системи (Type) та екземпляром системи (Instance). Тип системи характеризується унікальним ідентифікатором системи, а саме всією документацією, пов'язаною з системою (проектна документація, опис виробництва та випробування, технічна документація і т. д.) та потрібними сертифікатами. Опис типу системи припустимий як для будь-яких апаратних засобів та програмного забезпечення, так і для програмної та апаратної частин системи. З іншого боку, екземпляр системи характеризується унікальним ідентифікатором екземпляру, таким як серійний номер або номер замовлення (наряду), який прив'язаний до реалізації системи у конкретних виробничих умовах та на основі конкретних програмно-технічних засобах.

В наш час існують різні механізми для відображення й обробки цифрового життєвого циклу як типу системи у процесі її проектування, так і фізичного терміну служби екземпляру цієї системи в процесі її виготовлення та практичного використання у виробничих умовах. Одним з таких сучасних інструментів є Siemens OPCenter – уніфікований портфель цифрових рішень з управління усіма виробничими операціями [6].

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР) у формі проєкту є розробка на основі обґрунтовано вибраного програмного інструменту Siemens OPCenter ескізного проєктного рішення нового навчального засобу (НЗ) для практичного освоєння бакалаврами спеціальності 174 в рамках дисципліни «Проектування систем автоматизації» способу відображення й обробки цифрового життєвого циклу екземпляру промислової системи автоматизації, що реалізує управління виробничими операціями.

Об'єктом досліджень є навчальний процес підготовки у вищому технічному навчальному закладі фахівців з автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки.

Предметом досліджень є підвищення ефективності практичного вивчення студентами методів та засобів реалізації життєвого циклу промислових систем автоматизації за рахунок використання в навчальному процесі сучасного навчального засобу.

Для досягнення мети розробки мають бути вирішені такі задачі:

1. Означення життєвого циклу промислової системи автоматизації.
2. Вибір екземпляру промислової системи автоматизації для навчального практикуму.
3. Обґрунтування вибору програмних інструментів Siemens OPCenter.
4. Розробка архітектурної моделі активів (обладнання/інструменти/дані) нового навчального засобу.
5. Розробка технічного завдання на БКР.
6. Проектування функціональної структури системи автоматизації для нового НЗ.
7. Проектування інформаційної структури системи автоматизації для Нового НЗ.
8. Проектування програмної інтеграції системи автоматизації для нового НЗ.

Інноваційна новизна отриманих результатів проектування полягає в тому, що на відміну від існуючих навчальних засобів, новий засіб будується на основі лабораторного комп'ютерно-інтегрованого «віртуального» виробництва та сучасної інструментальної системи цифрового управління виробничими операціями, що дозволяє підвищити ефективність освоєння бакалаврами життєвого циклу інтегрованої систем автоматизації за рахунок детальної практичної розробки ними цифрового життєвого циклу екземпляру даної системи.

Практична цінність отриманих результатів проектування полягає в тому, що їх можна легко застосувати при створенні аналогічних навчальних засобів для підготовки фахівців споріднених галузей знань та спеціальностей.

Апробація основних результатів проектування були опубліковані в матеріалах LIV-ї науково-практичної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ) (Вінниця, ВНТУ, 2025 р.) [7].

Розробка навчального засобу виконувалась на основі індивідуального завдання, виданого кафедрою АІТ, та складеного технічного завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу у формі проекту (додаток А).

1 Техніко-економічне обґрунтування кваліфікаційного проєкту

1.1 Означення життєвого циклу промислової системи автоматизації

Як було зазначено у вступі, архітектурна модель побудови «розумного» підприємства Reference Model for Industrie 4.0 (RAMI 4.0) є уніфікованою архітектурною референтною моделлю, яка забезпечує колективне розуміння стандартів, створених для реалізації на основі технологій Інтернету речей (IoT) концепції «Industry 4.0» (I4.0) комп'ютерно-інтегрованого виробництва [1-3].

Дана модель може бути інструментом для означення різних концепцій в рамках I4.0, так і їх практичного використання. В цій моделі окремі компоненти I4.0 описуються на рівні їх структури та функцій. Модель вимагає формулювання вимог щодо конкретного застосування з метою опису та подальшої розробки I4.0 концепцій та продуктів. Таким чином, модель RAMI 4.0 описує нейтральну щодо подальшої реалізації найкращу (рекомендовану) архітектурну модель для тих додатків, що використовують Інтернет речей, аналітику великих даних та інші технологічні новації у виробничих процесах.

Референтна модель надає загальну структуру та мову для пояснення та специфікації системної архітектури, що, відповідно, сприяє поліпшенню загального розуміння та системної взаємодії. При архітектурному описі цифрових виробничих платформ рівняння на референтну модель є дуже корисним, бо вона надає каркас для стандартизації відповідних технічних систем, від їх розробки, подальшої інтеграції і до їх дії. Референтна модель RAMI 4.0, що показана на рис. 1.1, базується на 3-вимірній системі координат – «Життєвий цикл та потік формування цінності» (Life Cycle & Value Stream), «Шари» (Layers) та «Ієрархічні рівні» (Hierarchy Levels).

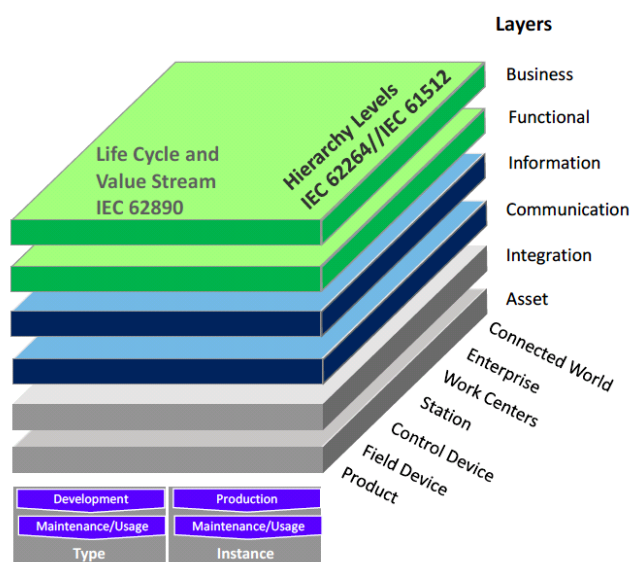


Рисунок 1.1 - Референтна архітектурна модель RAMI 4.0

Ця структура може використовуватися для системної організації та подальшої розробки концепцій та технологій в рамках I4.0.

Вісь «Життєвий цикл та потік формування цінності» (Life Cycle and Value Stream) представляє життєвий цикл продуктів (продукції) та систем (наприклад систем автоматизації). Ця вісь взята зі стандарту ІЕС 62890 [5].

Модель життєвого циклу продукту/системи в першу чергу вводить різницю між типом продукту/системи та екземпляром продукту/системи. Тип продукту/системи характеризується унікальним ідентифікатором продукту/системи, а саме всією документацією, пов'язаною з продуктом/системою (проектна документація, опис виробництва та випробування, технічна та експлуатаційна документація і т. д.) та потрібними сертифікатами. Опис типу продукту/системи припустимий як для будь-яких апаратних засобів та програмного забезпечення, так і для програмної та апаратної частин продуктів/систем. З іншого боку, екземпляр продукту/системи характеризується унікальним ідентифікатором екземпляру, таким як серійний номер або номер замовлення (наряду).

Усі продукти/системи змінюються в процесі свого життєвого циклу. Зазвичай, такі інструменти, як PLM (Product Lifecycle Management) і ERP (Enterprise Resource Planning) підтримують процеси міграції, комплексність і адаптивність і в такий спосіб забезпечують захист бізнес-моделі в рухливих системах. Для I4.0 недостатньо використання цих інструментів, тому що повинні бути відображені цифровий життєвий цикл у рамках проектування продукту/системи, а також фізичний термін життя зробленого продукту чи системи.

Шари архітектурної моделі RAMI4.0 (див. рис. 1.1), організовані уздовж вертикальної осі і відображають різні керуючі шари інформаційних технологій (ІТ) проекту конкретного I4.0 рішення:

- 1). Шар бізнесу (Business).
- 2). Функціональний шар (Functional).
- 3). Інформаційний шар (Information).
- 4). Шар комунікацій (Communication).
- 5). Шар інтеграції (Integration).
- 6). Шар активів (Asset).

Таким чином, дана архітектурна модель описує будову інтегрованої системи автоматизації (ІСА), яка керує усіма операціями «розумного» комп'ютерно-інтегрованого виробництва.

Життєвий цикл систем автоматизації означений і у інших національних та міжнародних стандартах. Наприклад, інтегрована система автоматизації звичайного (не розумного) виробництва може мати той же життєвий цикл, що і автоматизована інформаційна система (АІС) [8-10].

У таблиці 1.1 наведені рекомендовані міжнародним стандартом [8] стадії життєвого циклу АІС та їх цілі. Як видно з таблиці, проектування системи повинно виконуватися на стадії «Розробка», де створюються описи рішень та системи, але не означаються послідовні кроки формування цих описів.

Таблиця 1.1 – Стадії життєвого циклу АІС згідно з ДСТУ ISO ІЕС ІЕЕЕ 15288_2016

Стадія життєвого циклу	Ціль	Схема рішень
Задум	Визначити потреби правовласників Дослідити задуми Запропонувати життєздатні рішення	Варіанти рішення: - виконати наступну стадію;
Розробка	Уточнити вимоги до системи Створити опис рішень Створити систему Провести верифікацію і валідацію системи	- продовжити данну стадію; - повернутись до попередньої стадії; - призупинити проект;
Виробництво	Виробити систему Проконтролювати і перевірити	- завершити проект;
Застосування	Забезпечити застосування системи для задоволення потреб користувачів	
Підтримка застосування	Забезпечити стійку реалізацію можливостей системи	
Переведення в категорію непридатних для застосування	Зберігання, архівування або списання системи	

Більш детально послідовність формування описів проектних рішень автоматизованої системи (АС) означається у застарілому вже міждержавному стандарті ГОСТ 34.601-90 [11]. Згідно з цим стандартом життєвий цикл системи складається з таких стадій:

1. Формування вимог до АС.
2. Розробка концепції АС.
3. Технічне завдання.
4. Ескізний проект.
5. Технічний проект.
6. Робоча документація (робочий проект).
7. Введення в дію.
8. Супровід.

При цьому перші три стадії 1-3 є такими, що передують проектуванню, а стадії 4-6 є безпосередньо проектними.

На стадії «Ескізний проект» визначаються: функції АС (функції підсистем, їх цілі та ефекти, склад комплексів задач та окремих задач); концепція інформаційної бази, її укрупнена структура; функції системи управління базою даних; склад обчислювальної системи; функції та параметри основних програмних засобів.

Стадія «Технічний проект» може складатися з таких етапів: «Розробка проектних рішень із системи та її частин», «Розробка документації на АС та її частини», «Розробка та оформлення документації на поставку виробів для комплектування АС та технічних вимог (технічних завдань) на їх розробку», «Розробка завдань на проектування в суміжних частинах проекту об'єкта автоматизації».

На стадії «Робоча документація (робочий проект)» оформляють робочу документацію, яка повинна вміщувати всі необхідні та достатні відомості для забезпечення виконання робіт із введення системи у дію (монтаж, збирання,

наладка) та її експлуатацію, а також для підтримки рівня експлуатаційних характеристик (якості) системи відповідно з прийнятими проектними рішеннями (етап 1). Крім того, на цій стадії розробляють програми та програмні засоби системи, виконують вибір, адаптацію та (або) прив'язку програмних засобів, що мають придбати, а також виготовляють програмну документацію (етап 2).

На рис. 1.2 показано співставлення моделей життєвого циклу автоматизованих систем (АС), які рекомендовані розглянутими вище стандартами.

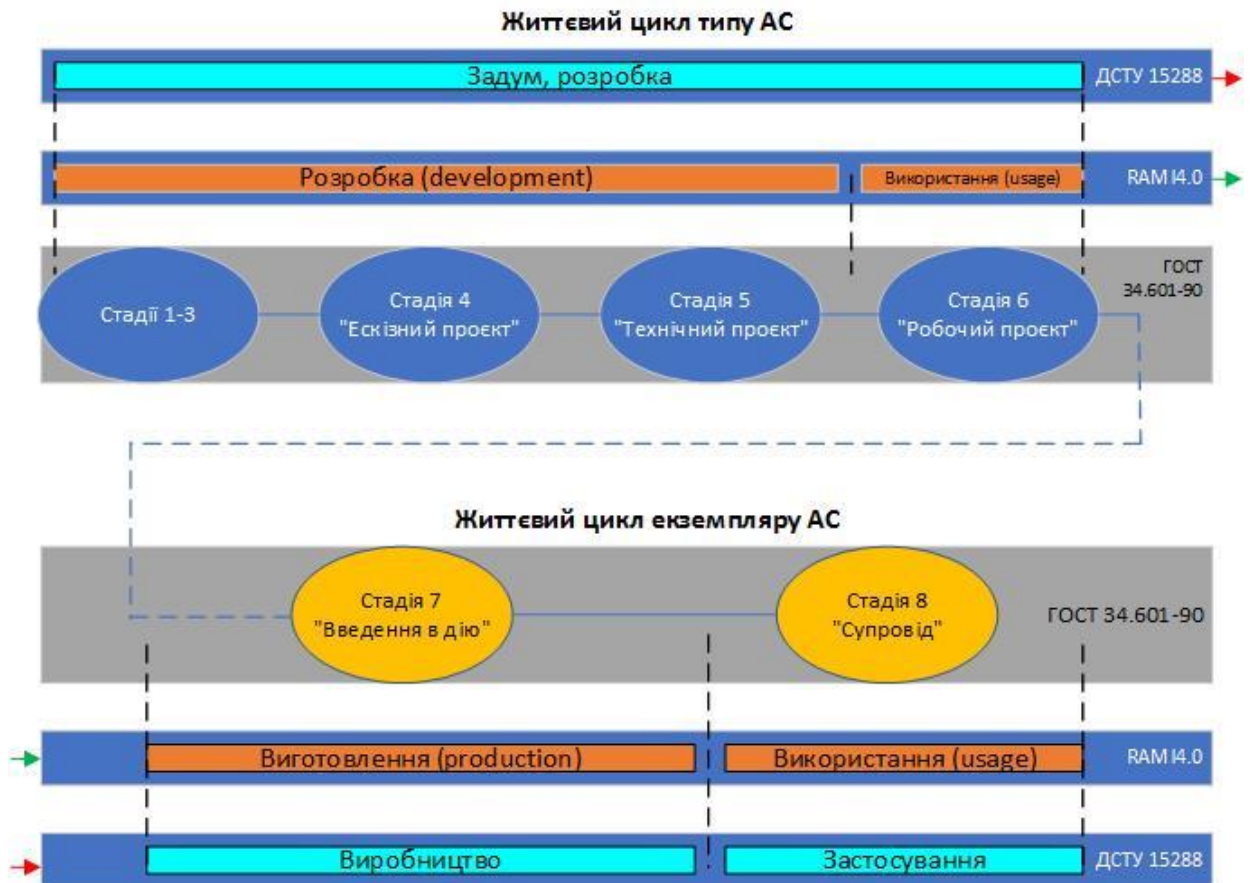


Рисунок 1.2 – Співставлення стандартних моделей життєвого циклу АС

З рисунку видно, що ці моделі пропонують аналогічне бачення життєвого циклу таких систем, тому для студентського дослідження за темою даної магістерської кваліфікаційної роботи, враховуючи його освітній характер, можна синтезувати деяку узагальнену модель, яка буде максимально орієнтована саме на задачі навчального процесу.

1.2 Вибір екземпляру промислової СА для навчального практикуму

Для проведення на новому навчальному засобі практичного освоєння бакалаврами спеціальності життєвого циклу екземпляру промислової системи автоматизації спочатку треба обґрунтовано вибрати таку систему. Враховуючи те, що дослідження мають проводити бакалаври спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»,

така система обов'язково повинна мати промисловий характер, тобто створюватися для деякого технологічного або виробничого процесу. Але така постановка задачі значно ускладнює організацію та проведення бакалаврами даного навчального практикуму в умовах університету, а його ефективного проведення в рамках виробничої практики неможливе із-за її часових обмежень. Тому треба застосувати інше рішення даної задачі.

У 2015 році в лабораторії "Промислова мікропроцесорна техніка" Вінницького національного технічного університету (ВНТУ) змонтована універсальна комп'ютеризована система, яка призначена саме для забезпечення навчального процесу з цієї спеціальності [12]. Усі засоби автоматизації та інше промислове обладнання для даної системи було безкоштовно надано компанією "СВ АЛЬТЕРА" (Україна) [13]. На рис. 1.3 наведена загальна конфігурація цієї універсальної комп'ютеризованої системи.

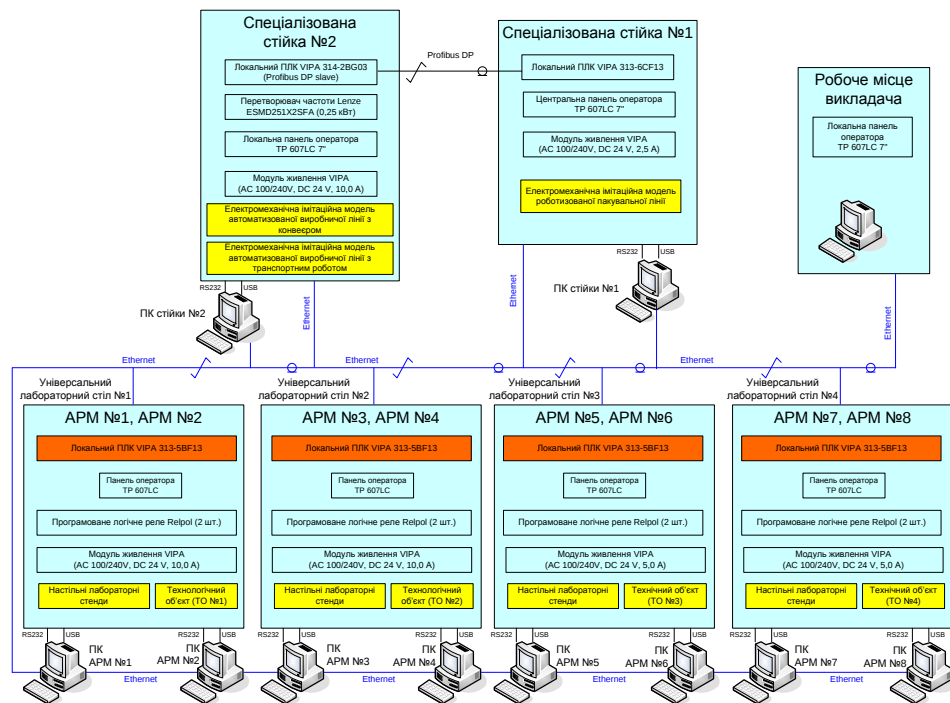


Рисунок 1.3 – Загальна конфігурація універсальної комп'ютеризованої системи ФІТА ВНТУ

Структурно система розміщена на чотирьох універсальних лабораторних столах (автоматизовані робочі місця АРМ1-АРМ8 студентських бригад) та на двох спеціалізованих стойках (№1 та №2). Біля кожного універсального столу, під кожною спеціалізованою стійкою, а також на стінах та на стелі лабораторії встановлені різноманітні моделі (фізичні, електромеханічні, імітаційні, гібридні) технологічних та технічних процесів (ТП):

– промислового 3-ємнісного накопичувача/дозатора рідини;

- промислового хімічного реактора;
 - роботизованої пакувальної лінії;
 - промислового виробничого складу;
 - промислової виробничої лінії з конвеєром;
 - промислової виробничої лінії з роботом;
 - промислової трубопровідної транспортної системи;
 - промислової конвеєрної транспортної системи;
- турнікету прохідної промислового підприємства.

Для прикладу на рис. 1.4 показаний монтаж світлової імітаційної моделі промислової трубопровідної транспортної системи на стіні лабораторії.

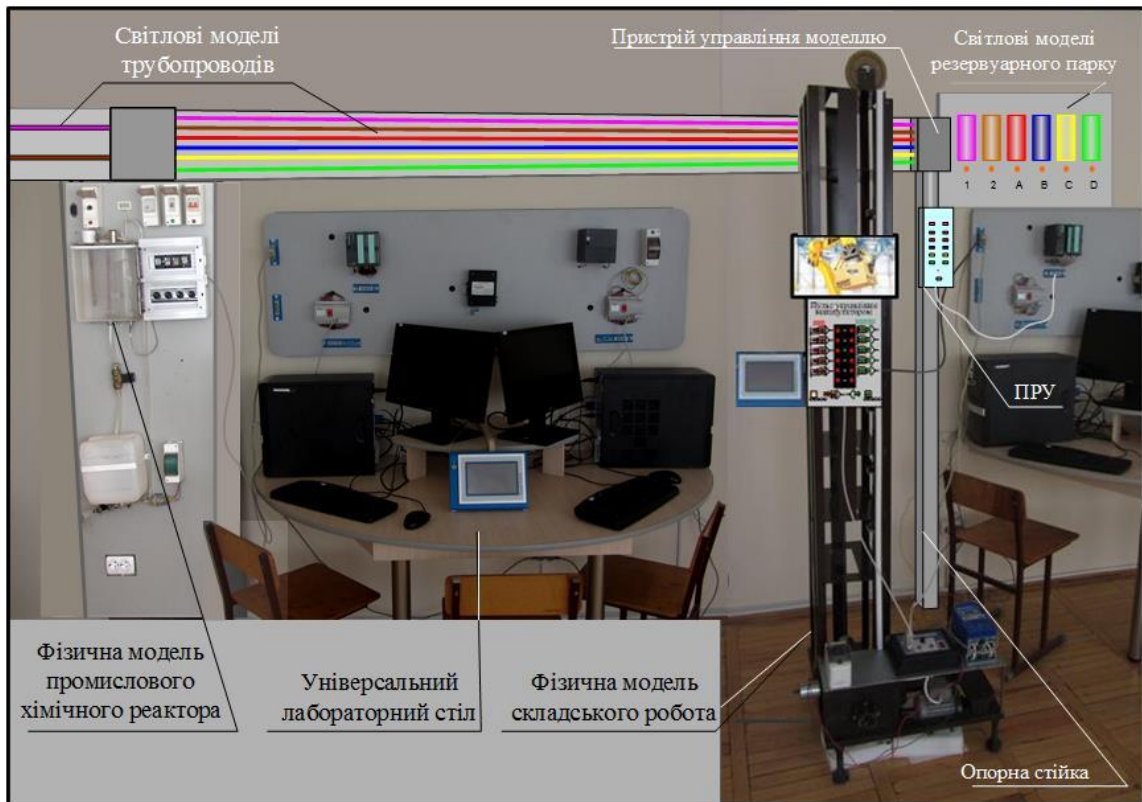


Рисунок 1.4 – Лабораторна імітаційна модель промислової трубопровідної транспортної системи

Для створення систем автоматизації цих моделей ТП в лабораторії встановлені відповідні промислові зразки засобів автоматизації: датчики та сигналізатори рівня, датчики витрат та температури, безконтактні шляхові вимикачі та імпульсні датчики кута обертання, електромагнітні клапани, електронасоси, термоелектричний нагрівач, електродвигуни різних типів, частотний перетворювач, зчитувач персональних магнітних карток, спеціалізований контролер управління доступом і т. д.

На базі даної лабораторії організовано проведення лабораторних практикумів з кількох професійних дисциплін бакалаврського рівня підготовки – «Технічні засоби автоматизації» та «Проектування систем автоматизації», в рамках яких здобувачі на практиці поступово проєктують та

реалізують системи автоматизації рівня АСУТП/SCADA, досліджуючи таким чином життєвий цикл екземплярів таких систем. При цьому для розробки їх програмного забезпечення студенти використовують ліцензійні інструменти – «WinPLC7» та «TIA Portal» (програмування ПЛК) та «Movicon 11» (програмування робочих станцій оператора).

Загалом здобувачі можуть в цій лабораторії проєктувати та реалізовувати дев'ять видів промислових систем автоматизації:

- СА промислового хімічного реактора;
- СА промислового накопичувача/дозатора;
- СА роботизованої пакувальної лінії;
- СА промислового виробничого складу;
- СА промислової виробничої лінії з конвеєром;
- СА промислової виробничої лінії з роботом;
- СА промислової трубопровідної транспортної системи;
- СА промислової конвеєрної транспортної системи;
- СА турнікету прохідної промислового підприємства

Таким чином, враховуючи наповнення лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» лабораторними моделями ТП, промисловими технічними засобами автоматизації та програмним забезпеченням, можна взяти саме цю лабораторію за основу нового навчального засобу. Проте, як було зазначено вище, навчальне дослідження життєвого циклу систем автоматизації у цій лабораторії здобувачі поки-що можуть виконувати лише для систем класу АСУТП/SCADA. Але для повної їх підготовки в рамках цієї дисципліни цього явно недостатньо, бо за навчальною програмою бакалаври повинні досліджувати життєвий цикл і більш складної інтегрованої СА, яка призначена саме для комп'ютерно-інтегрованого управління не окремими ТП, а цілим виробничим процесом, який об'єднує усі ці ТП. Чи можна організувати таке дослідження на базі описаної лабораторії?

В [14] запропонований спосіб організації в цій лабораторії «віртуального» виробництва хімічної продукції шляхом логічного об'єднання усіх описаних вище моделей технологічних/технічних процесів у єдину імітаційну модель.

На рис. 1.5 наведена загальна схема даного «віртуального» виробничого процесу. Уявно він організований у окремому цеху хімічного підприємства, де виробляється обмежена номенклатура хімічних рідин побутового призначення. В лабораторній імітації такого виробництва «випуск» готової продукції має відбуватися партіями за планом, сформованим бізнес-менеджерами. Для автоматизації такого «віртуального» виробництва в лабораторії треба вже створювати інтегровану систему автоматизації (ІСА), яка повинна об'єднувати локальні СА окремих ТП у єдине ціле і здійснювати додаткові функції з координації їх роботи з метою виконання виробничого завдання, поставленого бізнес-менеджерами підприємства.

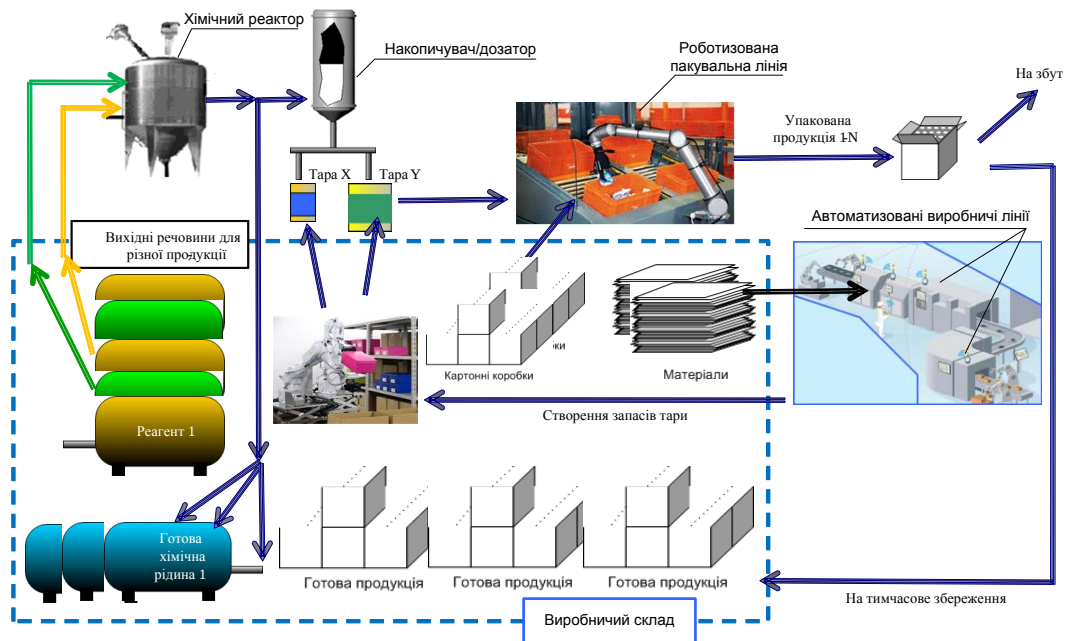


Рисунок 1.5 – Схема лабораторного «віртуального» виробничого процесу

У світовій практиці для створення таких інтегрованих СА застосовуються стандарти групи ISA-88 та їхні аналоги MEK (IEC). Розглянемо стандарт ISA-88 (IEC 61512) з точки зору організації управління описаним вище лабораторним «віртуальним» виробництвом [15, 16]. Цей стандарт описує рекомендований склад цільової функції «Управління виробничим процесом підприємства» у вигляді схеми функціональної структури комп'ютерно-інтегрованого виробництва, що наведена на рис. 1.6. Згідно з цією стандартною схемою функціональної структури автоматизоване управління основним виробництвом зводиться до виконання таких взаємопов'язаних діяльностей (функцій):

- керування означенням продукту (продукції);
- контроль виробничих ресурсів;
- детальний план-графік основного виробництва;
- диспетчерування виробництва;
- керування виконанням основного виробництва;
- збір даних основного виробництва;
- стеження за виробництвом;
- аналіз ефективності основного виробництва.

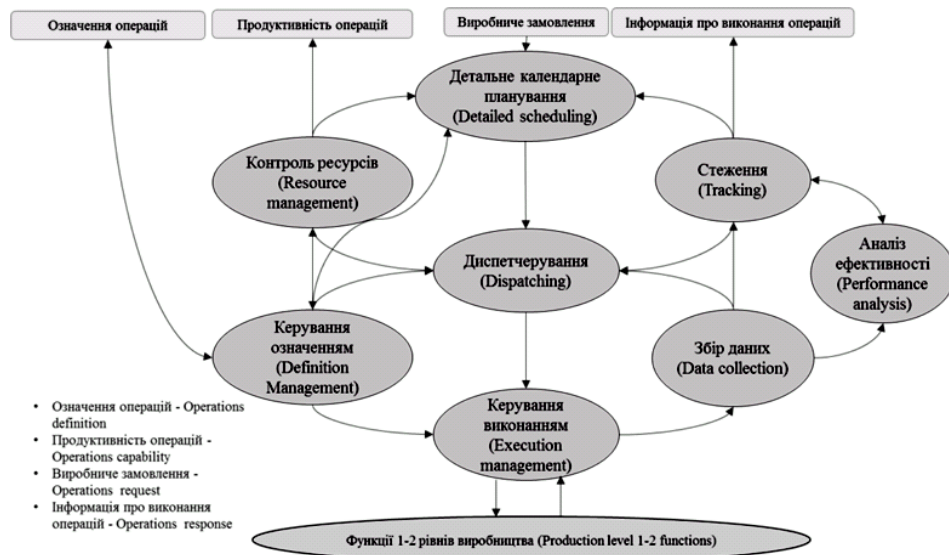


Рисунок 1.6 – Схема функціональної структури автоматизованої системи управління періодичним виробництвом (АСУВ, MES/MOM)

Лінії зі стрілками на рисунку 1.6 вказують на інформаційні потоки між діяльностями (функціями). Така стандартна схема функціональної структури на практиці використовується як шаблон для означення моделі для управління основним виробництвом (Production).

Схема функціональної структури, що показана на рис. 1.6, не призначена для побудови конкретної інтегрованої СА виробництва, вона зазвичай використовується в якості каркасу (шаблону) при реалізації такої системи. При цьому проєктувальники для реалізації в конкретній СА стандартних діяльностей з управління виробництвом (управлінських функцій) зазвичай враховують можливості (функціонал) наявних інструментальних засобів (систем).

Означимо тепер життєвий цикл тієї системи автоматизації, створеної в лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФІТА ВНТУ, який можуть досліджувати магістри спеціальності 174 в рамках професійної дисципліни «Стандарти та проєктування комп'ютерно-інтегрованих систем управління». З аналізу наведеного вище опису універсальної комп'ютеризованої лабораторної системи можна виділити три можливих життєвих циклів (рис. 1.7):

- життєвий цикл типу лабораторної системи автоматизації (1);
- життєвий цикл екземпляру СА лабораторного ТП (1 і 2);
- життєвий цикл екземпляру інтегрованої СА «віртуального» виробництва (3).

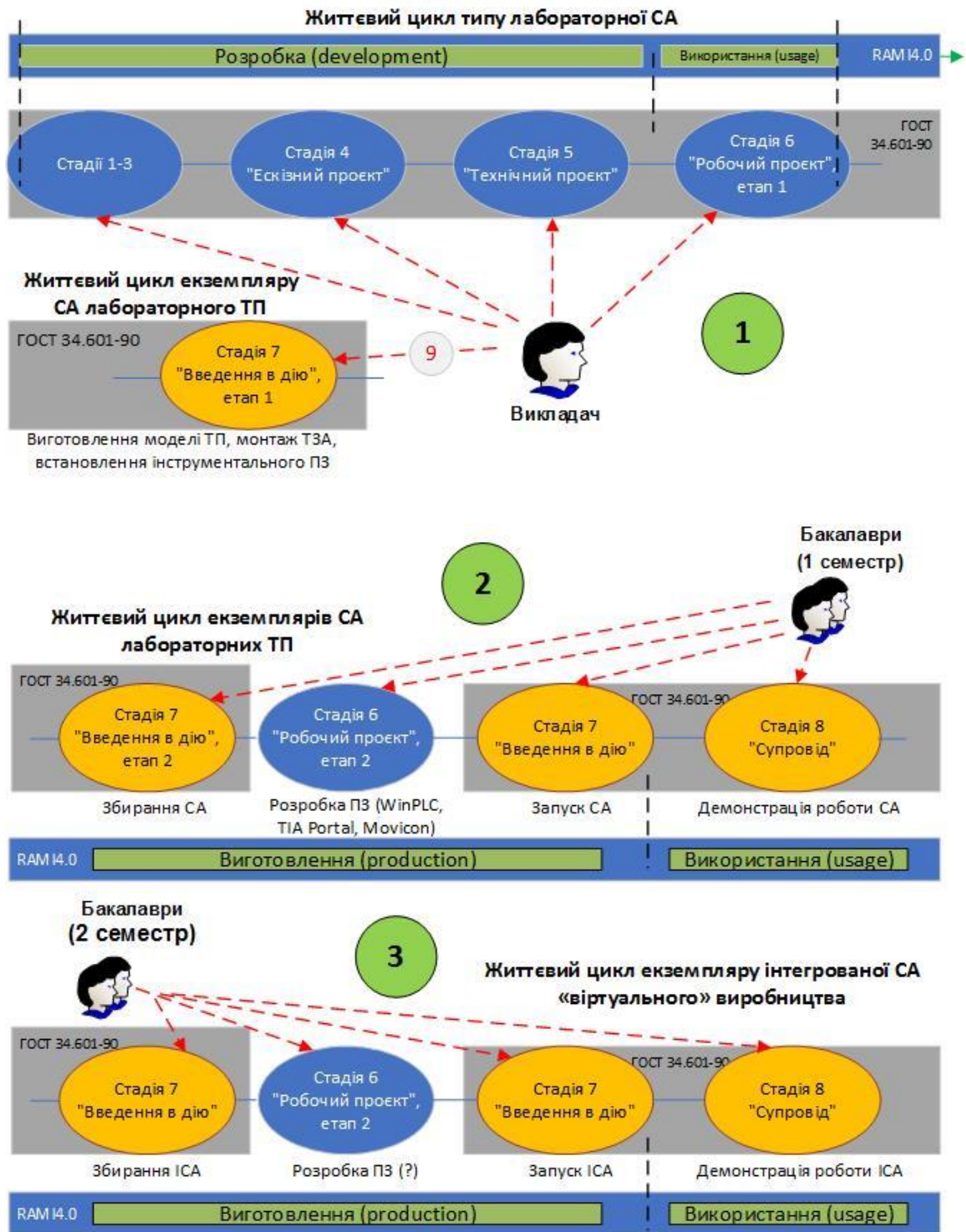


Рисунок 1.7 – Життєві цикли лабораторної СА

Перший життєвий цикл і частину другого життєвого циклу вже виконав викладач, коли проектував універсальну комп'ютеризовану лабораторну систему, розробляв робочу документацію і оформлював заявку (вимоги) на потрібні для її реалізації комплектуючі (обладнання, інструментальне ПЗ). На цьому закінчився життєвий цикл типу лабораторної СА.

Після отримання від компанії «СВ АЛІТЕРА» замовленого обладнання та інструментального ПЗ викладач виконав перший етап життєвого циклу

екземпляру кожної СА лабораторного ТП (в лабораторії можна створити дев'ять таких СА), а саме, виготовив модель ТП, змонтував технічні засоби автоматизації даного ТП та встановив на комп'ютер інструментальне ПЗ.

Решту стадій другого життєвого циклу вже мають виконувати студенти-бакалаври на протязі 1 семестру в рамках лабораторного курсу професійної дисципліни «Проектування систем автоматизації». Проте в цей життєвий цикл штучно введений один зі стандартних етапів життєвого циклу для типу лабораторної СА, а саме, етап «Розробка ПЗ» стадії «Робоча документація (робочий проєкт)». Це зроблено тому, що це навчальна лабораторія, де здобувачі повинні в першу чергу і освоювати практичні прийоми проектування та реалізації промислового ПЗ за допомогою наявних інструментальних засобів (систем) та на конкретних зразках технічних засобів автоматизації (ПЛК, робочі станції, сервери).

В нашому випадку здобувачі користуються таким інструментарієм – «WinPLC7», «TIA Portal», «Movicon 11».

В результаті виконання усіх лабораторних завдань кожна студентська бригада повинна розробити та продемонструвати у дії екземпляр СА окремого лабораторного ТП.

Якщо на потоці буде створено не менше 9 проєктних бригад, то наприкінці лабораторного практикуму викладач може мати в своєму розпорядженні 9 різних зразків прикладного ПЗ, яке вже перевірено у дії в рамках відповідних СА лабораторних ТП. На цьому завершується другий життєвий цикл лабораторної СА.

Третій життєвий цикл екземпляру інтегрованої СА лабораторного «віртуального» виробництва бакалаври виконують вже у 2 семестрі в рамках лабораторного курсу тієї ж професійної дисципліни «Проектування систем автоматизації». В цей життєвий цикл, як це було вже описано вище, також штучно введений етап «Розробка ПЗ» стадії «Робоча документація (робочий проєкт)».

Проте для виконання даного етапу в лабораторії на даний час немає відповідних інструментальних засобів (систем) і реалізувати навчальний практикум для освоєння даного життєвого циклу поки-що неможливо.

Саме тому пошук такого інструментарію і є однією з головних задач даної бакалаврської кваліфікаційної роботи.

1.3 Обґрунтування вибору інструментів Siemens OPcenter

Як зазначалось у вступі, інструменти платформи Siemens OPcenter орієнтовані на вирішення задач управління виробничими процесами, тобто відносяться до класу «Manufacturing Operations Management» або «МОМ». За допомогою цього інструментарію можна провести ефективну діджиталізацію всього виробництва. Архітектура та технології OPcenter дозволяють легко адаптувати їх під різні виробничі процеси, тобто реалізувати МОМ у кожній виробничій галузі. Ця масштабована інструментальна платформа з безліччю функцій дозволяє замовникам швидко досягати виробничої ефективності та

прозорості процесів, скорочувати терміни передачі продукції у виробництво та забезпечувати її високу якість.

Загалом інструментальна платформа пропонує такі основні рішення класу MOM:

- детальне планування виробництва та складання графіка;
- управління виробництвом;
- управління якістю;
- виробнича аналітика та оцінка продуктивності;
- дослідження, розробка нової продукції та лабораторія.

Розглянемо детальніше особливості цих рішень.

«OPcenter Execution Medical Device and Diagnostics» – це найкраще рішення щодо управління виробництвом медичних виробів та діагностичного обладнання. Система унеможливорює помилки, допомагає налагодити виробництво без паперової роботи та створювати електронні протоколи виготовлення виробів (eDHR), а також електронні протоколи на виробництво серій (eBR). Тобто це спеціалізоване галузеве рішення, що ґрунтується на передових методах виробництва медичних виробів. Це готова система, яку можна запровадити у найкоротші терміни. Рішення допомагає вибудовувати ефективні виробничі процеси, швидше впроваджувати інновації, скорочувати витрати та підвищувати якість виробів за дотримання всіх нормативних вимог.

«OPcenter Execution Semiconductor» може замінити застарілі та незручні системи, які не були адаптовані до змінюваних вимог виробництва напівпровідників. Ця інструмент створений для frontend та backend виробничих операцій у рамках виробництва напівпровідників.

У рішенні пропонується інноваційний функціонал, можливості індивідуального налаштування та інтеграції з іншими системами, що використовуються у компанії. Це відразу ж дозволяє виконувати різну аналітику: від аналізу результатів тестування та обсягу випуску до статистичної оцінки якості, яка дозволяє підвищити як якість, так і продуктивність.

Система управління якістю «OPcenter Quality» дозволяє забезпечити відповідність вимогам, оптимізувати якість, скоротити витрати, пов'язані з усуненням дефектів та доопрацюванням, та підвищити стабільність виробничих процесів.

Інтегровані функції моніторингу процесів (контрольні графіки, статистика, визначення меж якості/порога помилок) дозволяють виявити помилки на виробництві та уникнути надсилання замовникам неякісних виробів. Це рішення підтримує різні мови та призначене для різних галузей. Воно відповідає міжнародним стандартам якості, включаючи стандарти Міжнародної організації зі стандартизації (ISO 9001:2015), Міжнародної автомобільної цільової групи (IATF 16949:2016), Виконавчої групи автомобільної промисловості (AIAG), Німецької асоціації автомобільної галузі (VDA) та інші.

«OPcenter Execution Pharma» – це спеціалізоване рішення для управління виробництвом у фармацевтичній галузі, яке дозволяє налагодити виробництво без паперової роботи та повністю електронний документальний супровід партії. Завдяки інтеграції між системами управління виробництвом, автоматизації та ERP-системою в «OPcenter Execution Pharma» пропонуються розширені можливості проектування, оптимізації та контролю виробничих операцій та процесів, що виконуються як вручну, так і автоматично. Рішення дозволяє керувати виробництвом у режимі реального часу та одночасно аналізувати дані про процес та якість, що забезпечує оптимізацію всього циклу виробництва, від створення замовлення до випуску продукції.

Рішення «Advanced Planning and Scheduling» дозволяє більш ефективно координувати виробничі процеси. Диджиталізація змінює світ і змушує виробників швидко реагувати на несподівані зміни, задовольняючи запити замовників і скорочуючи терміни виведення виробів ринку. З цими проблемами стикаються як великі підприємства, і малий і середній бізнес.

Дане рішення спеціально розроблені для вирішення подібних завдань. У них використовуються новітні алгоритми, які допомагають привести обсяг виробництва у відповідність до попиту і дозволяють скласти здійсненні графіки випуску виробів. Продукти «Advanced Planning and Scheduling» можна використовувати для довгострокового стратегічного планування (на кілька місяців або навіть років), для середньострокового тактичного планування (на кілька тижнів) та для детального опрацювання послідовності дій та графіків.

«OPcenter RD&L» (Research, Development and Laboratory) – це гнучка та масштабована платформа для виробників товарів повсякденного попиту та підприємств переробної галузі, яка дозволяє оптимізувати та стандартизувати управління даними про рецептурні продукти. Це дозволяє ефективніше проводити дослідження та швидше розробляти нові вироби. Воно забезпечує дотримання вимог до якості та нормативних вимог. Тісна інтеграція даних досліджень та розробки з виробничими даними та процесами суттєво прискорює передачу готових варіантів конструкцій на виробництво.

Для стандартних завдань дослідження та розробки, таких як управління даними проєктів, створення рецептури, контроль за пробами та експериментами та розробка виробничих процесів, необхідний інтегрований набір кращих у своєму класі інструментів — від електронних записників до засобів управління лабораторією, специфікаціями, партіями, запасами, досвідченим виробництвом тощо. «OPcenter RD&L» складається з трьох основних компонентів, які доповнюються електронним лабораторним журналом та рішенням для підключення до роботи сторонніх користувачів: «OPcenter Specification», «OPcenter Formulation» та «OPcenter Laboratory».

«OPcenter Execution Discrete» - управління виробництвом для невеликих підприємств та складних складальних операцій. Дискретне виробництво, як правило, відрізняється невеликими обсягами та високою складністю. Це рішення містить потужні MES-інструменти, які забезпечують високу гнучкість та ефективність процесів, повну інтеграцію нормативних вимог та вимог до якості, синхронізацію виробничих процесів для

оптимального управління ланцюжком поставок та стійке скорочення витрат на обслуговування та експлуатаційних витрат. Разом з ERP- та PLM-системами «OPcenter Execution Discrete» стає невід'ємною частиною технологічної стратегії, забезпечуючи прозорість виробничих процесів, необхідну для підвищення якості та ефективності на підприємстві та в масштабах усього ланцюжка постачання.

«OPcenter Intelligence» (SIMATIC IT Unified Architecture Manufacturing Intelligence) – це рішення щодо управління виробничими даними підприємства, спрямоване на впровадження технологій, що формують майбутнє аналізу даних на виробництві: мобільний інтернет, хмарні обчислення та розширена аналітика. «OPcenter Intelligence» дозволяє пов'язувати, систематизувати та агрегувати виробничі дані з несумісних джерел та перетворювати їх на логічно пов'язану, змістовну, погоджену з контекстом інформацію, на основі якої можна швидко приймати виважені рішення. Ця інформація включає технологічні, комерційні та операційні дані, ключові показники ефективності, які впливають на виробництво.

«OPcenter Execution Process» – це MES-система для виробництва товарів повсякденного попиту, продуктів харчування та напоїв, а також хімічної промисловості. «OPcenter Execution Process» дозволяє підвищити ефективність та гнучкість виробництва, одночасно забезпечивши бездоганну якість. І все це на основі сучасної платформи та додатків. MES-система включає такі можливості, як вертикальна інтеграція, координація процесів, створення звітів про всі процеси, такі як отримання матеріалів, виробництво та інше.

Інтегроване управління якістю включає такі можливості, як збирання зразків, аналіз та оцінка результатів перевірки якості, і все це без відриву від виробництва. «OPcenter Execution Process» – це MOM-платформа, що поєднує планування, перевірку якості та інтелектуальну виробничу аналітику на основі інтерактивних панелей для аналізу виробничих даних. Для розробки нового виробу та його введення у виробництво OPcenter Execution Process дозволяє перетворювати загальні технічні вимоги на докладні майстер-інструкції, які підходять для створення графіків випуску продукції та їх виконання.

«OPcenter Execution Electronics» – це повноцінне цифрове рішення для виробництва в електронній промисловості. Воно призначене для виробництва друкованих плат, механічних систем та складання. Рішення, засноване на прямому підключенні до машин і виробничих ліній, включає управління виробництвом, якістю, планування, складання графіка проекту, управління матеріалами, а також виробничу аналітику.

Виробники електроніки можуть змінювати виробничі процеси та процеси перевірки якості з максимально високою швидкістю, необхідною для задоволення зростаючого попиту з боку замовників і вимог до якості, що посилюється. Також вони можуть швидше вводити у виробництво новий виріб і виводити його на ринок, одночасно підвищуючи свою конкурентоспроможність на ринку, що швидко змінюється, орієнтованому на споживача.

«Quality & Compliance Management» (управління якістю та відповідністю вимогам) призначене для компаній, які хочуть скоротити витрати на продукцію та експлуатаційні витрати, одночасно підвищуючи якість, щоб виділяти свою продукцію та отримувати конкурентну перевагу. «Teamcenter Quality» – це сімейство продуктів, яке без проблем працює з кількома доменами на платформі «Teamcenter Collaboration Platform».

Використовуючи додаткові елементи портфеля Teamcenter, «Teamcenter Quality» забезпечує замкнений підхід від проектування до виробництва цеху і назад. «Teamcenter Reporting & Analytics» розширює сімейство продуктів «Teamcenter Quality» за допомогою складного інструменту аналітики, інтегрованого в інтерфейс користувача Teamcenter, для моніторингу всіх необхідних KPI.

Проаналізувавши усі описані вище рішення з платформи Siemens OPcenter з точки зору їх функціоналу, можна зробити висновок, що для створення лабораторної інтегрованої системи автоматизації, яка має керувати періодичним «віртуальним» виробництвом, найбільш відповідає таке рішення як «OPcenter Execution Process». Воно орієнтовано саме на реалізацію за стандартом ISA95/IEC62264 комп'ютерно-інтегрованого процесного виробництва [17, 18], одним з різновидів якого є періодичне виробництво, що керується за допомогою рецептів, описаних в стандарті ISA88/IEC61512 [15,16].

Тому розглянемо детальніше вбудовані інструменти (програмні функції) даного рішення [19-21].

«Siemens OPcenter Execution Process» є багатфункціональним інструментом для створення систем класу MES, що розроблений для унікальних вимог окремих галузей промисловості, а саме, для виробництва споживчих упакованих товарів (CPG, Consumer Packaged Goods), для виробництва харчових продуктів і напоїв (Food & Beverage Manufacturing), а також для хімічного виробництва (Chemical Manufacturing).

«OPcenter Execution Process» розроблений так, щоб охопити весь ланцюжок створення вартості виробничого процесу (process value chain) – від отримання вхідного матеріалу до розподілу вироблених готових товарів, він легко інтегрується з такими рішеннями платформи Siemens OPcenter як контроль якості (Manufacturing Quality Management), вдосконалене планування та розклад виробництва (Advanced Production Planning and Scheduling), керування специфікаціями продукції (Product Specification Management), управління лабораторною інформацією (LIMS, Laboratory Information Management Systems), керування електронними записами партій (EBRM, Electronic Batch Record Management) а також зі звітністю, тенденціями виробництва та розширеним аналізом з рішення «Manufacturing Intelligence» (Виробничий Інтелект).

«OPcenter Execution Process» надає такі можливості при виконанні автоматизованого виробництва – вертикальну інтеграцію (vertical integration), координацію процесів (process orchestration), генеалогію (genealogy) та звітність (reporting), охоплюючи наскрізь усі наявні у виробництві процеси –

отримання вихідних матеріалів, процеси виготовлення та вихід готової продукції.

Нижче наведений більш детальний перелік основних функцій даного рішення:

- Відстеження та контролювання всіх незавершених робіт (WIP, work-in-progress), ресурсів та діяльностей на рівні заводу (factory floor).
- Синхронізація виконання виробництва та операцій на декількох виробничих ділянках (across multiple sites).
- Збирання оперативних даних з виробничого обладнання та процесів.
- Підтримка роботи операторів за рахунок інтерактивних робочих інструкцій та вимог до покрокових перевірок.
- Означення (опис) правил використання та властивості технологічного обладнання (мінімальна/максимальна місткість резервуарів/силосів, обмеження щодо обробки матеріалів і т. п.).
- Відстеження використання/продуктивності технологічного обладнання та керування його обслуговуванням.
- Відстеження та керування переміщенням/зберіганням матеріалів, незавершених елементів (напівфабрикатів) і готової продукції.
- Створення та відстеження нових матеріальних зразків, поширення результатів/аналізу за допомогою інтегрованих систем управління лабораторною інформацією (LIMS, Laboratory Information Management Systems).
- Забезпечення створення партій та процесу їх означення за допомогою інтегрованих електронних записів партій (EBR, Electronic Batch Records).
- Звітування про продуктивність у режимі реального часу порівняно з історичними та/або очікуваними результатами (використання ресурсів, доступність ресурсів, час циклу одиниці продукту, відповідність графіку тощо).
- Моделювання альтернативних операцій для визначення шляхів подолання існуючих вузьких місць виробничих ресурсів.
- Моніторинг виробничих процесів і надання підтримки операторам у прийнятті рішень щодо внесення покращень або виправлень (в рамках одного процесу та/або від однієї операції до наступної).
- Відстеження й запис (реєстрація) статусу (стану) виробництва та розподілу робіт у режимі реального часу (персонал, матеріали, поточний стан, тривоги, переробка, невідповідності).
- Запис (реєстрація) інформації про виробництво, що дозволяє відстежувати компоненти та їх використання в кожному кінцевому продукті (генеалогія).
- Запис (реєстрація) матеріалів для кожної операції робочого замовлення (вимоги до матеріалів, спожиті матеріали, вироблені/фактичні матеріали).

- Керування розсилкою, послідовністю, виконанням і змінами робочих нарядів.
- Забезпечення захищеного доступу до виробничої документації та її оновлювання (робочі інструкції, рецепти, СОП (SOPs), записи партій, повідомлення про зміни в лабораторії/проекті тощо).
- Визначення послідовності і часу виконання операцій на основі пріоритетів і правил, пов'язаних з конкретним виробничим обладнанням і характеристиками продукції.
- Призупинення виконання робочого циклу до тих пір, доки не буде виконана попередньо визначена умова (наприклад, очікування лабораторного аналізу зібраних зразків).
- Управління та контроль якості протягом усього виробничого процесу з акцентом на запобігання браку (вимірювання продукції, контрольні списки, виявлення дефектів).
- Виявлення, означення та виправлення невідповідності у конфігурованих процесах переробки.
- Розподілення і контроль усіх ресурсів, що використовуються у виробництві (обладнання, інструменти, робоча сила, навички, матеріали, процедури, документи тощо).
- Виконання замовлень на матеріали та на їх поповнення.

Перелічені функції адаптуються до типу процесного виробництва. Наприклад, для періодичного виробництва можна реалізовувати управління матеріалами, формулами, рецептами та партіями. При цьому буде відстежуватися змінні ключові характеристики сировини, що надходить на вхід процесу (наприклад, кислотність або в'язкість), а також чутливі до часу параметри (стиглість, термін зберігання тощо). Можна також застосувати тісну інтеграцію системи MES періодичного виробництва та системи управління специфікаціями (рівень ERP), щоб отримати ефективність і точність в управлінні формулами, рецептами та специфікаціями матеріалів (BOM). Крім того, інтегроване управління якістю в рамках «OPcenter Execution Process» виконує автоматичну вибірку, аналіз та оцінку показників якості з точною прив'язкою до конкретних виробничих подій, операцій та процесів. А для підтримки та полегшення діяльності з розробки нових продуктів (NPD, New Product Development) і впровадження нових продуктів (NPI, New Product Introduction) «Siemens OPcenter Execution Process» дозволяє трансформувати рецепти з «загальних» специфікацій у детальні «основні» інструкції, готові для планування та виконання замовлень.

Наприкінці означимо основні переваги рішення «Siemens OPcenter Execution Process» при створенні інтегрованих СА періодичного виробництва:

- забезпечення безпаперового виробництва;
- повна відстежуваність операцій і матеріалів;
- підвищення ефективності процесів і ресурсів;
- забезпечення контролю якості продукції та її відповідності;

- зменшення переробки, браку і відходів;
- мінімізація часу виконання замовлення;
- оптимізація виробничої діяльності в режимі реального часу;
- оптимізація використання обладнання;
- зменшення часу простою технологічного обладнання;
- забезпечення прийняття більш обґрунтованих рішень для виробництва;
- збільшення пропускної здатності;
- синхронізація процесів на заводі та/або в глобальному підприємстві.

1.4 Розробка архітектурної моделі активів навчального засобу

Розробку архітектурної моделі активів навчального засобу (обладнання/інструменти/дані) виконуємо з урахуванням призначення нового навчального засобу, особливостей життєвого циклу лабораторної інтегрованої СА «віртуального» виробництва та доступних для викладача/здобувача інструментів виконання навчального практикуму.

На рис. 1.8 і додатку Б показана архітектурна модель ресурсів навчального засобу, яка забезпечує проведення навчального практикуму з освоєння життєвого циклу екземпляру інтегрованої системи автоматизації (ІСА) в рамках професійної дисципліни «Проектування систем автоматизації».

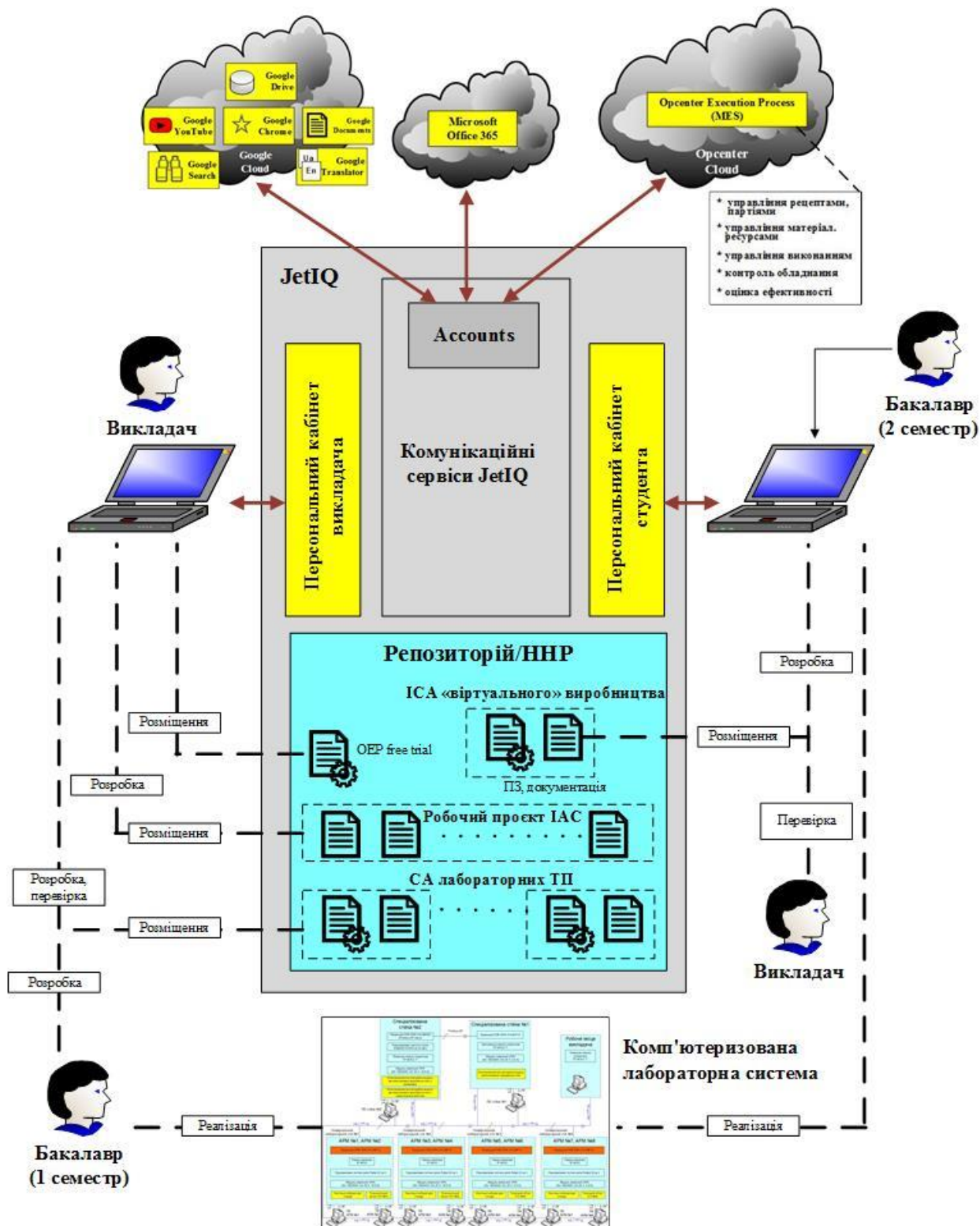


Рисунок 1.8 – Архітектурна модель активів навчального засобу

Оснoву даної архітектури утворюють такі основні активи:

- система автоматизованого управління даними освітнього процесу та документообігу «JetIQ» ВНТУ [22];
- комп'ютеризована лабораторна система, змонтована в лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФІТА ВНТУ [12].

В системі «JetIQ» використовуються такі її складові частини, як «Персональний кабінет викладача», «Персональний кабінет студента», «Репозиторій» чи «Навігатор навчального ресурсу (ННР)», а також «Комунікаційні сервіси JetIQ».

В якості основних інструментальних активів в архітектурній моделі використовуються:

- інформаційні хмарні сервіси компанії Google («Google Cloud»);
- інструменти хмарної платформи «Microsoft Office 365 for Education»;
- інструменти «OPcenter Execution Process» (OEP) хмарної платформи «OPcenter Cloud».

В якості вихідних активів-даних для початку навчального дослідження в моделі використовуються файли прикладного програмного забезпечення (ПЗ) та пов'язана з ними технічна документація, яку розробляють бакалаври у 1 семестрі в ході лабораторного практикуму з дисципліни «Проектування систем автоматизації». Ці дані описують проекти систем автоматизації (СА) окремих лабораторних технологічних/технічних процесів (ТП), які моделюються засобами комп'ютеризованої лабораторної системи. Загалом таких наборів даних може бути дев'ять. Якщо заняття проводяться в аудиторії, то студенти-бакалаври на стадії «Введення у дію» можуть реалізувати ці СА за допомогою програмно-технічних засобів лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка». Якщо ж заняття проводяться онлайн, то студенти через відповідні комунікаційні сервіси «JetIQ» надсилають усі проектні дані викладачу, який перевіряє їх на своєму комп'ютері (запускає СА у дію в режимі емуляції, аналізує технічну документацію), а після цього остаточний варіант студентського проекту розміщує у своєму репозиторію або в навігаторі навчального ресурсу (ННР).

В архітектурній моделі передбачено також, що викладач може розробляти свої варіанти проектів СА лабораторних процесів і розміщувати їх в якості зразка у своєму репозиторію або в навігаторі навчального ресурсу (ННР).

Для роботи з хмарними інструментами викладач, який веде лабораторний курс, через свій комп'ютер входить до персонального кабінету і створює в ньому потрібні йому залікових записи («Accounts») – для доступу до інформаційних хмарних сервісів компанії Google, до інструментів хмарної платформи «Microsoft Office 365 for Education», до інструментів «OPcenter Execution Process» (OEP) хмарної платформи «OPcenter Cloud».

Для роботи з хмарними інструментами і бакалавр, який проходить лабораторний курс у 2 семестрі, через свій комп'ютер входить до персонального кабінету і створює в ньому усі потрібні йому залікових записи («Accounts») – для доступу до інформаційних хмарних сервісів компанії Google, до інструментів хмарної платформи «Microsoft Office 365 for Education», до інструментів «OPcenter Execution Process» (OEP) хмарної платформи «OPcenter Cloud».

За допомогою інструменту «Google Documents» хмарної платформи «Google Cloud» або інструментів хмарної платформи «Microsoft Office 365 for

Education» викладач на початку навчального дослідження життєвого циклу екземпляру інтегрованої СА (ІАС) «віртуального» виробництва розробляє і розміщує у «Репозиторії/ННР» робочі проєкти окремих частин (підсистем) цієї системи, що є вихідними даними для створення бакалаврами вже у 2 семестрі відповідного екземпляру даної частини (підсистеми) ІАС.

У 2 семестрі бакалавр виконує поступову реалізацію екземпляру ІАС (розробка прикладного ПЗ і технічної документації), використовуючи такі інструментальні активи:

- інструменти «OPcenter Execution Process» (OEP) хмарної платформи «OPcenter Cloud» для створення системи класу MES, наприклад, «Управління рецептами, партіями», «Управління матеріальними ресурсами», «Управління виконанням», «Контроль обладнання», «Оцінка ефективності» та ін.;
- інформаційні хмарні сервіси компанії Google ("Google Cloud"), зокрема, «Google YouTube», «Google Chrome», «Google Drive», «Google Search», «Google Documents» та «Google Translator»;
- інструменти хмарної платформи «Microsoft Office 365 for Education», зокрема, «Word», «Excel» та «Visio».

Крім того, якщо у 2 семестрі бакалавр не зможе отримати доступ до інструментів «OPcenter Execution Process» хмарної платформи «OPcenter Cloud», то викладач може розмістити у «Репозиторії/ННР» файли інсталяції безкоштовної спрощеної версії «OPcenter Execution Process» (OEP free trial), яке доступне на відповідних сайтах в Інтернет, наприклад [23].

В ході поступового створення екземпляру ІАС «віртуального» виробництва бакалавр постійно звітує перед викладачем про хід цього процесу, надсилаючи йому через комунікаційні сервіси «JetIQ» відповідні електронні документи та зразки прикладного ПЗ. Викладач перевіряє їх, вносить корективи і надає рекомендації.

Після закінчення усіх робіт бакалавр може реалізувати ІАС за допомогою програмно-технічних засобів лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» (якщо заняття проводяться в аудиторіях). При онлайн режимі навчання бакалавр надсилає викладачу готовий проєкт ПЗ і технічну документацію, а викладач розміщує їх у «Репозиторії/ННР».

2 Проєктування функціональної інтеграції лабораторної ІАС

Виходячи з запропонованого вище життєвого циклу екземпляру інтегрованої СА (ІСА) лабораторного «віртуального» виробництва, який за допомогою нового навчального засобу повинні на практиці освоювати бакалаври у 2 семестрі дисципліни «Проєктування систем автоматизації», в даній бакалаврській кваліфікаційній роботі необхідно спроектувати такий тип цієї системи, який здобувачі змогли б потім реалізовувати у вигляді окремого екземпляру лабораторної ІАС. При цьому цей тип ІАС має бути обов'язково побудований на основі вже існуючих екземплярів СА лабораторних технічних/технологічних процесів (ТП), які розробляють або бакалаври у 1 семестрі дисципліни «Проєктування систем автоматизації», або викладач, що веде цей практикум.

Тому для реалізації екземпляру ІАС у повному обсязі необхідно напочатку 2 семестру вже мати реалізації дев'яти екземплярів СА окремих лабораторних ТП, а саме, СА промислового хімічного реактора, СА промислового накопичувача/дозатора, СА роботизованої пакувальної лінії, СА промислового виробничого складу, СА промислової виробничої лінії з конвеєром, СА промислової виробничої лінії з роботом, СА промислової трубопровідної транспортної системи, СА промислової конвеєрної транспортної системи та СА турнікету прохідної промислового підприємства.

З теорії інтегрованих СА відомо, що при проєктуванні таких систем обов'язково треба забезпечувати в них такі п'ять видів інтеграції [24]:

- організаційна;
- функціональна;
- інформаційна;
- програмна;
- технічна.

Тому і почнемо проєктування типу лабораторної ІСА для навчального засобу з вказаних вище перших двох видів її інтеграції.

2.1 Організаційна структура інтегрованого автоматизованого управління лабораторним «віртуальним» виробництвом

На рис. 2.1 показана стандартна модель управління операціями основного періодичного виробництва [15], яку ми можемо використати в якості каркасу для побудови даного типу лабораторної ІСА.

У нашому випадку цю модель можна сприймати як оптимальну функціональну структуру інтегрованого автоматизованого управління лабораторним «віртуальним» виробництвом, яку і повинні реалізовувати різні організаційні частини лабораторної ІАС.

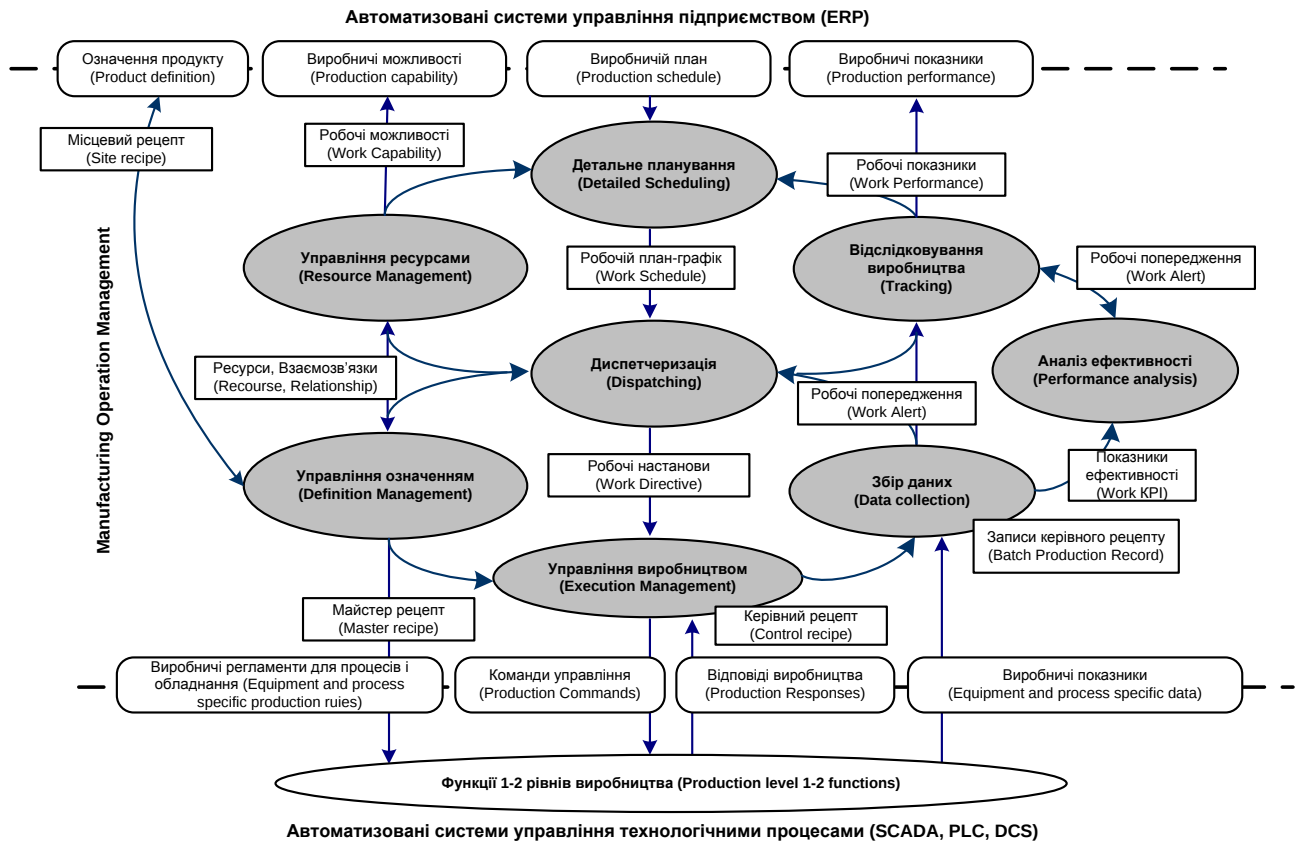


Рисунок 2.1 – Оптимальна функціональна структура інтегрованого управління лабораторним «віртуальним» виробництвом

На рис. 2.2 показаний запропонований варіант організаційної структури інтегрованого автоматизованого управління лабораторним «віртуальним» виробництвом, яку можна покласти в основу проєкту типу лабораторної ІАС для нового навчального засобу.

З рисунку видно, що пропонується утворити дану організаційну структуру на основі п'яти управлінських підрозділів, а саме:

- «Відділ кадрів, бухгалтерія»;
- «Відділ планування»;
- «Технічний відділ»;
- «Економічний відділ»;
- «Диспетчерська служба».

Пропонується також в організаційній структурі використовувати окремий сервер виробничих даних, який програмно буде виконувати таку стандартну управлінську функцію як «Збір даних (Data collection)».

В рамках лабораторної ІСА діяльність цих організаційних підрозділів має обов'язково бути автоматизованою, тобто умовні управлінці даного виробництва повинні працювати на своїх автоматизованих робочих місцях (АРМ). Наприклад, на одному АРМ мають реалізовуватися такі функції підрозділу «Відділ кадрів і бухгалтерія» – основна стандартна функція

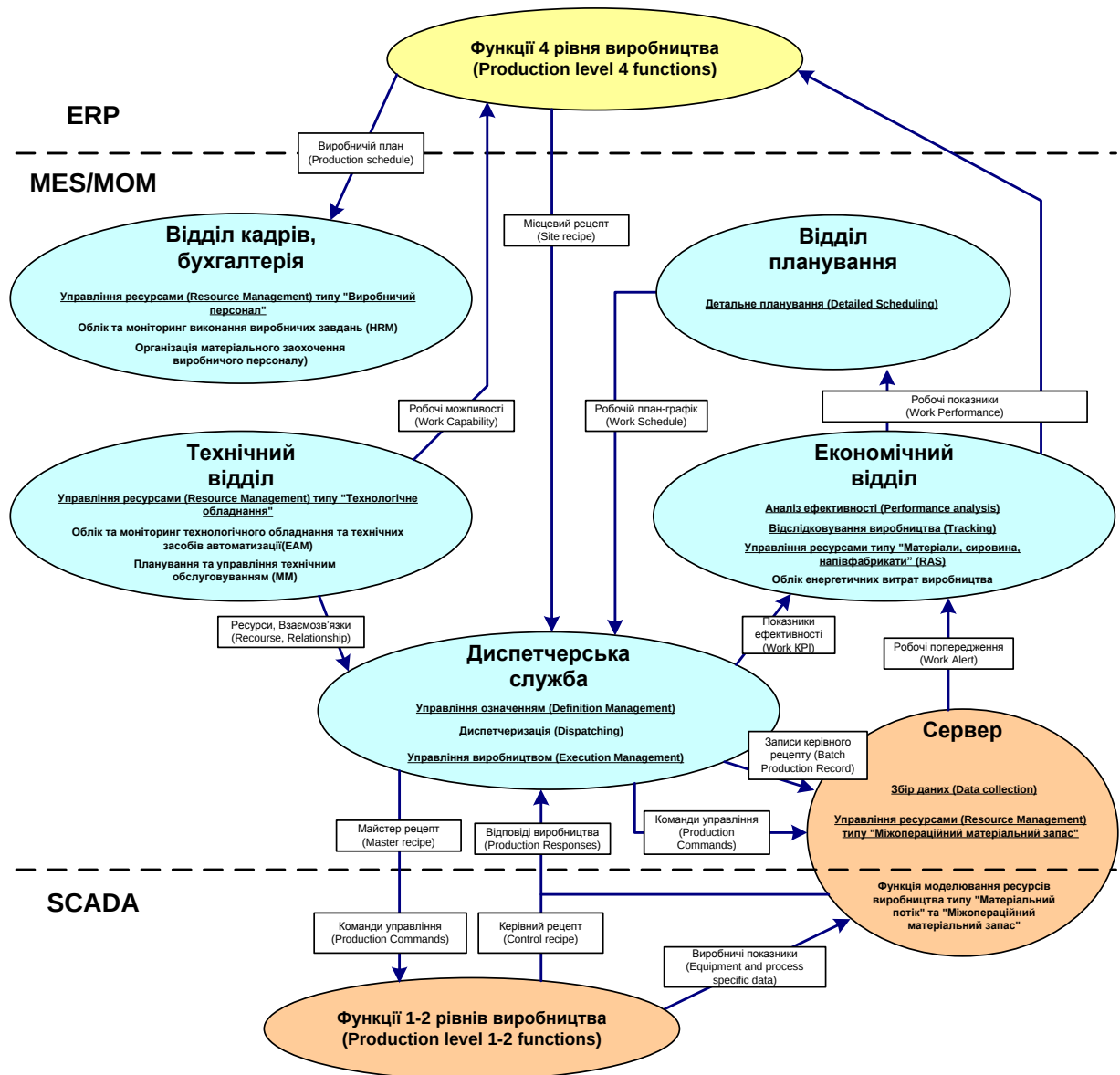


Рисунок 2.2 – Вихідна організаційна структура типу ІСА лабораторного «віртуального» виробництва

«Управління ресурсами (Resource Management)» (де під ресурсом розуміється "Виробничий персонал"), додаткова функція «Облік та моніторинг виконання виробничих завдань (HRM)» й додаткова функція «Організація матеріального заохочення виробничого персоналу)». На другому АРМ має реалізовуватися основна стандартна функція підрозділу «Відділ планування» – «Детальне планування (Detailed Scheduling)». На третьому АРМ мають реалізовуватися функції підрозділу «Технічний відділ», а саме, основна стандартна функція «Управління ресурсами (Resource Management)» (де під ресурсом розуміється "Технологічне обладнання"), додаткова функція «Облік та моніторинг технологічного обладнання та технічних засобів автоматизації (EAM)» й додаткова функція «Планування та управління технічним обслуговуванням (MM)». На четвертому АРМ мають реалізовуватися функції підрозділу «Економічний відділ», а саме, основна стандартна функція «Аналіз

ефективності (Performance analysis)», основна стандартна функція «Відслідковування виробництва (Tracking)», основна стандартна функція «Управління ресурсами (RAS)» (де під ресурсами розуміються "Матеріали, сировина, напівфабрикати") та додаткова функція «Облік енергетичних витрат виробництва». На п'ятому АРМ мають виконуватися функції підрозділу «Диспетчерська служба» – основна стандартна функція «Управління означенням (Definition Management)», основна стандартна функція «Диспетчеризація (Dispatching)» та основна стандартна функція «Управління виробництвом (Execution Management)». Усі вказані і АРМ утворюють інтегровану систему автоматизації класу MES/MOM (управління виробництвом).

На рис. 2.2 показані і функції інших трьох рівнів лабораторної ІСА, а саме, рівні 1-2 (утворюють СА класу АСУТП/SCADA) та рівень 4 (утворює СА бізнес-процесів підприємства класу ERP).

На рис. 2.2 для кожної організаційної частини (підрозділу) даного типу ІАС показані і інформаційні взаємодії між функціями цих організаційних частин (підрозділів) лабораторної ІАС.

Зрозуміло, що в реальній навчальній лабораторії зазначені організаційні частини (підрозділи) даного типу ІСА можуть бути реалізованими лише за допомогою наявного в ній комплексу технічних засобів (КТЗ).

Наприклад, функції 1-2 рівнів виробництва (див. рис. 2.2) можна виконувати за допомогою таких технічних засобах, як промислові контролери (ПЛК) та персональні комп'ютери (АРМ операторів), а функції 3-го рівня, наприклад «Диспетчерська служба», вже можуть виконуватися тільки на персональних комп'ютерах, наприклад АРМ диспетчера. Тобто на основі існуючого детального опису будови комп'ютеризованої навчальної лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФІТА ВНТУ та запропонованої організаційної структури даного типу лабораторної ІСА можна розробляти концептуальні рішення для апаратної частини цієї ІСА, наприклад узагальнені структурні схеми КТЗ для виконання окремих управлінських функцій організаційними частинами даного типу ІСА.

На рис. 2.3 наведена розроблена схеми функціональної структури даного типу ІСА лабораторного «віртуального» виробництва при виконанні низки основних управлінських функцій, передбачених міжнародним стандартом ІЕС61512 [15] для періодичного виробництва. Наведена схема розділена на 3 частини, які відповідають окремим рівням комп'ютерно-інтегрованого управління періодичним виробництвом, а саме, на рівень «ERP», рівень «MES/MOM» та рівень «SCADA». В кожній з цих частин жирними лініями виділені окремі програмні області, які відносяться до окремих обчислювальних ресурсів даного типу лабораторної ІСА.

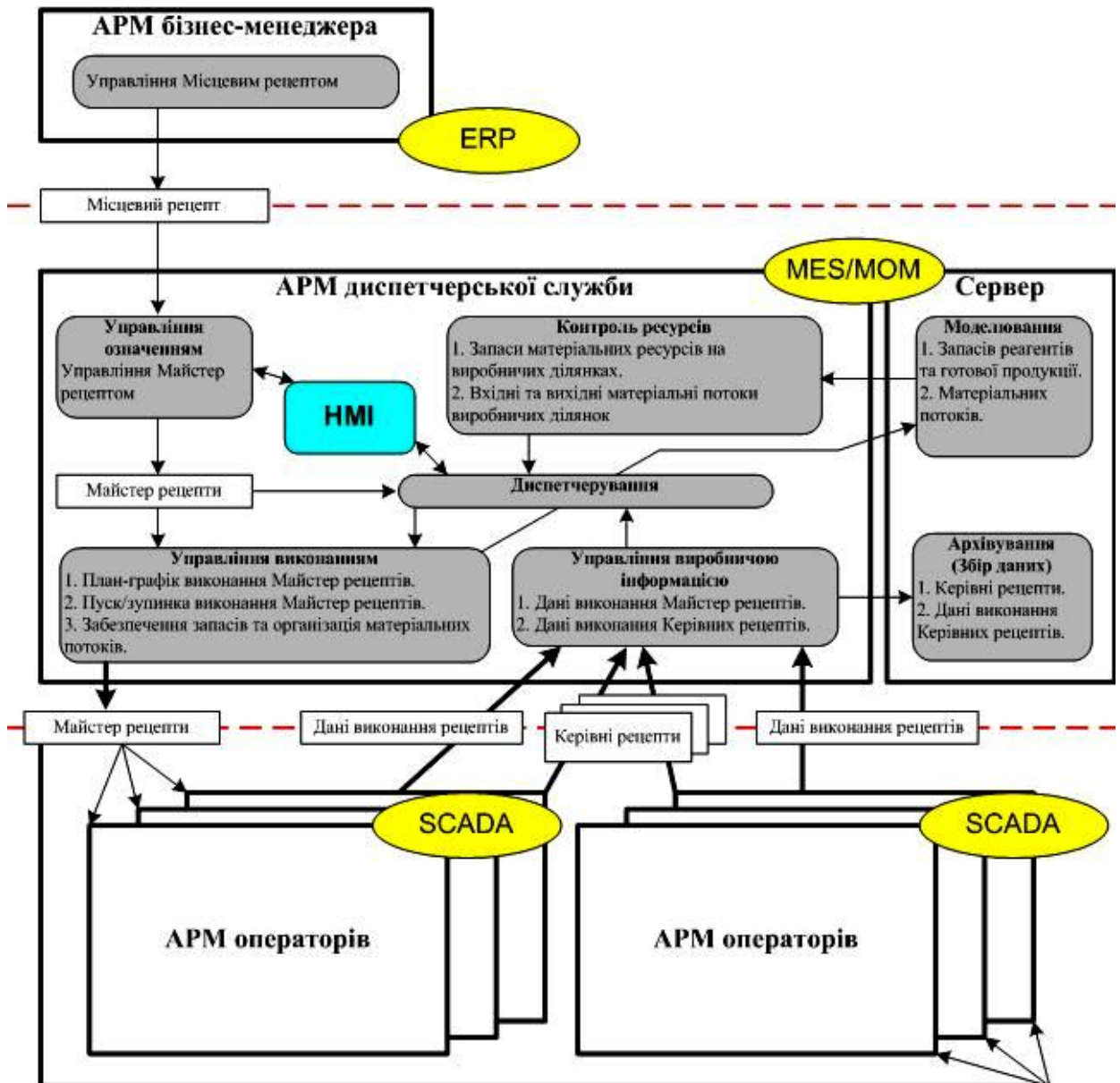


Рисунок 2.3 – Схема функціональної структури даного типу лабораторної ІСА

2.2 Функціональна інтеграція для рецептурного управління лабораторним «віртуальним» періодичним виробництвом

Періодичні виробничі процеси (Batching) призначені для випуску обмеженої кількості продукту/продукції на універсальному технологічному устаткуванні. Така обмежена кількість продукту/продукції називається партією/ порцією (batch).

Міжнародний стандарт ІЕС 61512 рекомендує застосовувати в ІСА для управління періодичним виробництвом так називаного «рецептурного» способу управління, який передбачає використання в системі трьох типів рецептів [15]:

- «Місцевий рецепт» (Site Recipe) – формується в ICA на рівні «ERP» і звідти в електронному вигляді надсилається до системи рівня «MES/MOM»;
- «Майстер рецепт» (Master Recipe) – формується в ICA на рівні «MES/MOM» по інформації, що містить «Місцевий рецепт» (Site Recipe), та надсилається в електронному вигляді до системи рівня «SCADA», яка керує окремим технологічним/технічним процесом (ТП) виробництва;
- «Керівний рецепт» (Control Recipe) – формується в ICA на рівні «SCADA» по інформації, що містить «Майстер рецепт» (Master Recipe), та надсилається у електронному вигляді до системи рівня «CONTROL», яка здійснює керування окремою одиницею технологічного/технічного устаткування даного ТП.

На рівні «MES/MOM» за формування кожного оригінального екземпляру «Майстер рецепт» відповідає така основна стандартна функція як «Керування означенням (Definition Management)» (див. рис. 2.1), яка визначає усю інформацію щодо виробничих інструкцій, матеріалів та ресурсів, які потрібні при виготовленні нової партії (порції) готового продукту (готової продукції). Кожний електронний документ типу «Майстер рецепт» складається з таких обов'язкових розділів:

- «Заголовок» (Header) – містить загальну інформацію щодо нової партії/порції продукту/продукції;
- «Формула» (Formula) – вказує параметри та кількісні характеристики сировини та інших видів ресурсів, які мають бути застосовані при виробництві нової партії/порції продукту/продукції;
- «Вимоги до обладнання» (Equipment Requirements) – описує характеристики та тип обладнання, яке може виробляти вказаний в рецепті вид продукту/продукції;
- «Процедура» (Procedure) – описує «технологічну програму» для виготовлення даного продукту/продукції на вказаному вище обладнанні.

Документ «Майстер рецепт» є, по суті, шаблоном, де вказуються які саме ресурси (матеріали, людські ресурси, обладнання) і яким чином (процедура) треба задіяти при виробленні нової партії/порції конкретного продукту/продукції.

Як було зазначено вище, електронний документ «Майстер рецепт» надсилається до системи рівня «SCADA», яка керує конкретним ТП. На цьому рівні ICA формується вже унікальна копія рецепту для конкретної партії/порції продукту/продукції – «Керівний рецепт» (Control Recipe). Він містить вже детальну інформацію, наприклад, щодо виконання конкретним технологічним обладнанням процедури виготовлення партії/порції продукту/продукції (наприклад, конкретні технологічні параметри для даного виду обладнання, його використовувані вузли та пристрої, навіть його технологічна програма). За стандартом ICA 61512 «Керівний рецепт» в ICA періодичного виробництва є тим об'єктом, на якому побудована вся система архівування виробничої інформації, пов'язаної з процесом виготовлення конкретної партії/порції продукту/продукції. Це дає можливість, при

необхідності, в подальшому здійснювати іншу основну функцію управління цього рівня – відстеження (Tracking) всієї історії вироблення конкретної партії/порції продукту/продукції.

Крім основної функції «Керування означенням (Definition Management) в ІСА періодичного виробництва на рівнях «MES/MOM», «ERP», «SCADA» та «CONTROL» повинні виконувати ще багато інших основних і додаткових функцій управління. На рис. 2.4 показана стандартна модель управлінської діяльності (Control Activity Model), до якої і входять ці обов'язкові функції. Вони на цій моделі об'єднуються у сім основних управлінських діяльностей.

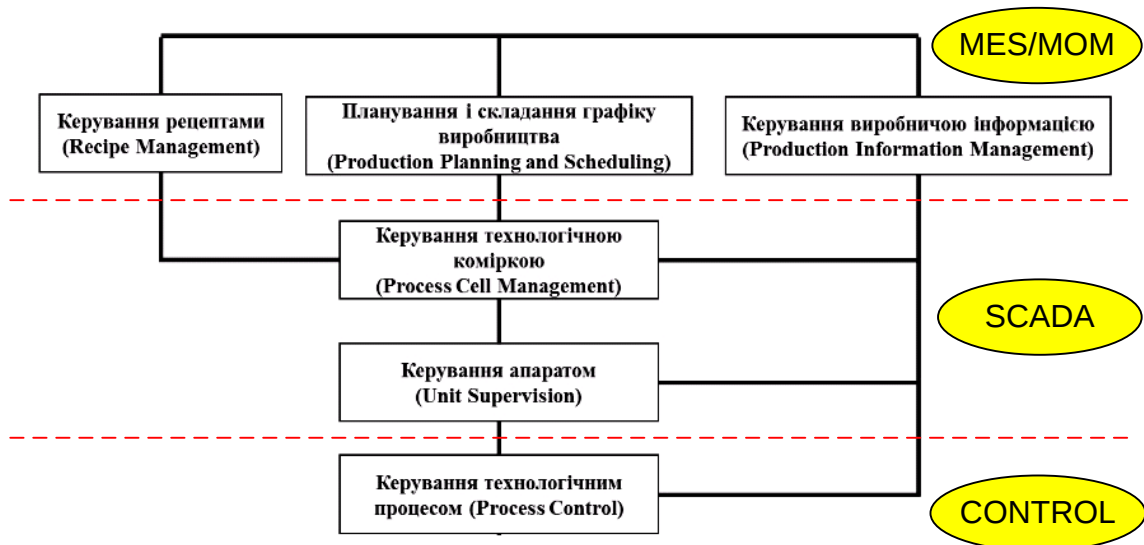


Рисунок 2.4 – Управлінські діяльності ІСА періодичного виробництва

Функції управління місцевими та майстер рецептами об'єднані в діяльність «Керування Рецептами» (Recipe Management). Функції планування усіх процесів з виготовлення партій/порцій продукту/продукції об'єднані у діяльність «Планування і складання графіку виробництва» (Production Planning and Scheduling).

Для збирання та збереження усієї інформації щодо виготовлення кожної конкретної партії/порції продукту/продукції в ІСА повинні бути реалізованими відповідні функції, які об'єднані у діяльність «Управління виробничою інформацією» (Production Information Management). Ті функції, які відповідають за формування конкретних екземплярів «Керівного рецепту», за пуск та контроль процесу виготовлення цих партій/порцій, за координовану роботу технологічних апаратів, за формування журналів та виробничих звітів об'єднані у діяльність «Управління технологічною коміркою» (Process Management, Process Cell Management). До діяльності «Управління апаратом» (Unit Supervision) відносяться ті функції, які відповідальні за виділення ресурсів, за керування виконанням процедурних елементів і за координацію діяльностей, що відбуваються на рівні управління процесом.

У діяльність «Управління процесом» (Process Control) входять ті управлінські функції, які виконує безпосередньо технологічне обладнання, наприклад, функція управління конкретним регульовальним пристроєм або стан-орієнтованим пристроєм.

З метою означення взаємодії основних та додаткових управлінських функцій при реалізації в лабораторній ІСА рецептурного управління «віртуальним» періодичним виробництвом була розроблена деталізована схема функціональної структури даного типу ІСА (рис. 2.5 та додаток Б).

Ця схема описує функціональну організацію ІСА для управління фазою 1 основного ТП «віртуального» періодичного виробництва.

Схема має чотири частини, які відповідають окремим рівням даного типу ІСА: «ERP», «MES/MOM», «SCADA» та «CONTROL».

Жирними лініями в цих частинах виділені ті функції чи їх групи, що виконуються на окремих обчислювальних ресурсах лабораторії:

- «АРМ бізнес-менеджера» – обчислювальний ресурс, де створюється робоче місце управлінця рівня «ERP»;

- «АРМ диспетчерської служби» – обчислювальний ресурс, де створюється робоче місце диспетчера «віртуального» періодичного виробництва (рівень «MES/MOM» лабораторної ІСА);

- «Сервер» – обчислювальний ресурс, де створюється база виробничих даних (рівень «MES/MOM» лабораторної ІСА);

- «АРМ оператора» – обчислювальний ресурс, де створюється робоче місце оператора виробничої ділянки (рівень «SCADA» лабораторної ІСА);

- «ПЛК апарату» – обчислювальний ресурс, де створюється керуючий контролер технологічного апарату (рівень «CONTROL» лабораторної ІСА).

На схемі стрілками позначені обов'язкові інформаційні потоки між основними та додатковими управлінськими функціями даного типу ІСА. При цьому сірими прямокутниками з заокругленими кутами на схемі позначені основні функції управління, а всередині цих прямокутників ще вписані і їх додаткові функції.

Як видно з рисунку, на рівні «ERP» даного типу ІСА виконується функція «Управління Місцевим рецептом» (формування рецепту з виготовлення партії продукції заданого типу усім періодичним виробництвом). Цей рецепт описує формулу виготовлення продукції всім виробництвом та процедури окремих його ТП. Визначаються також вимоги до технологічного обладнання, а у розділі «Інша інформація» – часові терміни

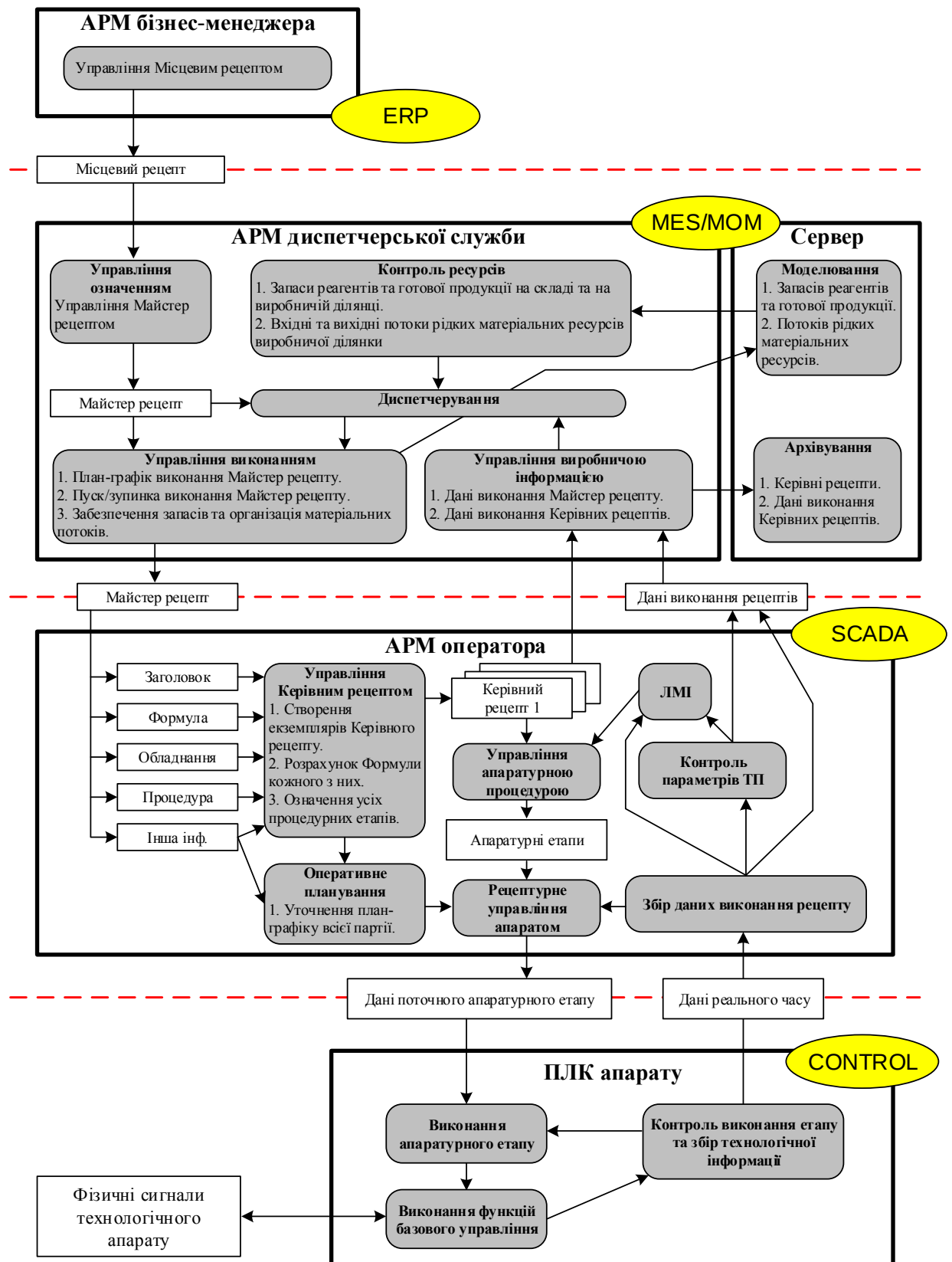


Рисунок 2.5 – Схема функціональної структури типу ІСА для рецептурного управління «віртуальним» періодичним виробництвом

виготовлення партії. «Місцевий рецепт» надсилається у електронному вигляді на нижчій рівень «MES/MOM».

На цьому рівні обчислювальний ресурс «АРМ диспетчера» виконує декілька основних функцій управління: «Управління означенням», «Контроль ресурсів», «Диспетчерування», «Управління виконанням» та «Управління виробничою інформацією».

«Місцевий рецепт» поступає на вхід функції «Управління означенням», яка повинна здійснювати розробку «Майстер рецепту» для конкретного ТП періодичного виробництва. В «Майстер рецепті» уточняється основна процедура даного ТП (для комірки, апарату, технологічних операцій та етапів). Розроблений «Майстер рецепт» надсилається іншим двом основним управлінським функціям – «Управління виконанням» та «Диспетчерування».

Функція «Диспетчерування» здійснює за «Майстер рецептом» такі дії – пуск/зупинка виробництва, поточний контроль за виконанням рецепту, оперативне забезпечення виробництва усіма необхідними матеріальними ресурсами та ін.

Функція «Управління виконанням» забезпечує оперативну інформаційну взаємодію з системою рівня «SCADA» в процесі вироблення поточної партії продукції. Тому до її складу входять такі додаткові функції: «План-графік виконання Майстер рецепту», «Пуск/зупинка виконання Майстер рецепту», «Забезпечення запасів та організація матеріальних потоків» та ін..

Перша додаткова функція на основі інформації щодо оперативного планування виробництва надає накази на рівень «SCADA» щодо дотримання часових обмежень даного ТП. Друга додаткова функція на основі наказів від функції «Диспетчерування» здійснює пуск/зупинку процесу виконання поточного «Майстер рецепту». Третя додаткова функція на основі наказів або виробничої інформації від функції «Диспетчерування» про виконання поточного «Майстер рецепту» здійснює управлінські дії для забезпечення потрібних запасів матеріальних ресурсів та їх потоків.

Основна функція «Управління виробничою інформацією» збирає та обробляє усю оперативну інформацію про процес виконання поточного «Майстер рецепту» та сформованих по ньому екземплярів «Керівного рецепту». Ця оперативна інформація надходить з рівня «SCADA» даного типу ІСА. Частина зібраної та обробленої інформації використовується функцією «Диспетчерування» (наприклад для контролю виконання поточного «Майстер рецепту»), а частина передається далі до основної функції «Архівування», реалізованої на обчислювальному ресурсі «Сервер». Ця функція здійснює збереження виробничої інформації по кожному виконаному екземпляру «Керівному рецепту», яка в подальшому, при необхідності, дозволить відстежити історію виготовлення кожної порції продукції за конкретним Керівним рецептом.

На рівні «SCADA» даного типу ІСА застосований обчислювальний ресурс типу «АРМ оператора». На цих ресурсах виконуються декілька основних управлінських функцій, а саме, «Управління Керівним рецептом»,

«Оперативне планування», «Управління апаратурною процедурою», «Рецептурне управління апаратом», «Людино-машинний інтерфейс» (ЛМІ), «Контроль параметрів ТП» та «Збір даних виконання рецепту». Усі вказані функції пов'язані між собою відповідними інформаційними потоками.

«Майстер рецепт» з рівня «MES/MOM» даного типу ІСА надходить на вхід основної функції «Управління Керівним рецептом». Вона забезпечує розробку одного екземпляру «Керівного рецепту» (якщо партія продукції виготовляється за один раз) або кількох екземплярів «Керівного рецепту» (якщо партія продукції виготовляється за кілька циклів роботи обладнання). При цьому використовується та інформація, що містить вхідний «Майстер рецепт», а також відомості про продуктивність технологічного апарату.

В екземпляр «Керівний рецепт» розділ «Процедура» з «Майстер рецепту» копіюється тільки тоді, коли вона описана повністю (з зазначенням рецептурних процедурних етапів технологічного апарату). Якщо ж ні, то розділ «Процедура» «Керівного рецепту» повинна бути деталізованою. Крім того, з розділу «Формула» «Майстер рецепту», який стосується виготовлення одиниці продукції, треба розрахувати формули для виготовлення кожної порції продукції для кожного екземпляру «Керівного рецепту». В екземпляр «Керівного рецепту» також можна вносити інформацію про часові обмеження щодо його виконання.

Для ефективного виконання кожного екземпляру «Керівного рецепту» слід додатково:

- вказувати унікальний ідентифікатор, який буде «маркером» для ведення архіву даної партії/порції продукції, бо подальше архівування буде здійснюватися саме з використанням цього ідентифікатора, щоб можна було при необхідності відстежити історію виготовлення кожної партії/порції;
- вказувати кількість продукції (величина партії/порції), яку необхідно виготовити за даним конкретним екземпляром рецепту;
- конкретизувати тип обладнання, яке має бути використане при виготовленні даної конкретної партії/порції.

В результаті виконання функції «Управління Керівним рецептом» формується або набір екземплярів «Керівного рецепту», або один його екземпляр.

Основна функція «Управління апаратурною процедурою» має на меті зв'язати рецептурні процедурні елементи, в першу чергу етапи, поточного екземпляру «Керівного рецепту» з апаратурними процедурними елементами цього рецепту (етапами). Тоді можна отримати набір послідовно та паралельно виконуваних апаратурних процедурних етапів, які вже будуть зв'язаними як з конкретними значеннями технологічних параметрів (з формули), так і з конкретними станами агрегатів технологічного апарату.

Основна функція «Рецептурне управління апаратом» призначена для послідовного виконання тих апаратурних етапів, які були означені попередньою функцією. В результаті цього до рівня «CONTROL» даного типу ІСА будуть послідовно надсилатися поточні набори даних (значення технологічних параметрів, стани апарату та його агрегатів).

Основна функція «Збір даних виконання рецепту» повинна здійснювати збирання та оброблення усієї виробничої інформації в режимі реального часу, яка надходить з обчислювального ресурсу «ПЛК апарату» в процесі виготовлення поточної порції/партії. Частина цієї інформації повинна передаватися до функції «ЛМІ» (людино-машинний інтерфейс) для відображення на екрані монітору оператора. Друга частина повинна передаватися до функції «Контроль параметрів ТП», яка у свою чергу має порівнювати значення поточних технологічних параметрів з встановленими границями (нормами). У разі порушення встановлених границь ця функція повинна сповіщати про це оператора через функцію «ЛМІ», а також фіксувати як аварійну подію, передаючи цю інформацію до функції «Управління виробничою інформацією». До цієї ж функції треба передавати і ту частину даних щодо виконання поточного екземпляру «Керівного рецепту» з «ПЛК апарату», яка не потрібна на рівні управління технологічним процесом.

Основна функція «ЛМІ» служить для інформаційного забезпечення роботи оператора даного ТП, а також забезпечення функції «Управління апаратурною процедурою», яку здійснює оператор.

Нижчий рівень даного типу ІСА утворюється на основі обчислювального ресурсу «ПЛК апарату», в якому виконуються декілька основних управлінських функцій, а саме, «Виконання апаратурного етапу», «Виконання функцій базового управління» та «Контроль виконання етапу та збір технологічної інформації». Усі ці функції виконуються прикладною програмою ПЛК. Тому вони зв'язані між собою інформаційними потоками через системну шину промислового контролера. При цьому функція «Виконання апаратурного етапу» діє згідно з даними поточного апаратурного етапу, які передаються через локальну мережу з функції «Рецептурне управління апаратом» обчислювального ресурсу «АРМ оператора». Для своєї роботи вона викликає на виконання потрібні функції базового управління окремими агрегатами технологічного апарату. Функція «Контроль виконання етапу та збір технологічної інформації» контролює стан виконання поточного апаратурного етапу і при його закінченні сповіщає про це функцію «Рецептурне управління апаратом», а також блокує повторне його виконання на рівні апарату. Кім того ця функція збирає та передає на верхній рівень даного типу ІСА усю потрібну інформацію реально часу, яка описує поточні значення технологічних параметрів та стани апарату/агрегатів.

3 Проєктування інформаційної інтеграції лабораторної ІАС

Як було зазначено вище, функції даного типу лабораторної ІСА у переважній більшості будуть виконуватися програмним шляхом на різних обчислювальних ресурсах системи. Ці функції в такій ІСА обов'язково взаємодіють між собою за допомогою відповідних інформаційних зв'язків, які зазвичай реалізуються у вигляді інформаційних потоків між задіяними обчислювальними ресурсами системи (персональні комп'ютери, промислові контролери, сервери).

В [11] пропонується на етапі ескізного проєктування інформаційної взаємодії функцій інтегрованих СА обов'язково розробляти такі види графічної проєктної документації як графова або блочна модель інформаційних потоків. Обидві ці моделі розробляються зазвичай саме на основі узагальнених структурних схем КТЗ інтегрованої СА. При цьому графова модель інформаційних потоків зображується у вигляді потокового орієнтованого графу. Вершинами цього графу є програмні функції ІСА, а дугами – інформаційні потоки передачі цифрових даних між програмними функціями. Зазвичай на дугах (інформаційних потоках) наноситься їх нумерація, а на вершинах графу вказуються або назви програмних функцій, або їх умовні позначення (наприклад числові ідентифікатори). Дуги мають вигляд стрілок, які вказують напрямом передачі цифрових даних. Якщо інформаційні потоки є 2-направленими (об'єднаними), то використовуються і відповідні 2-сторонні дуги. Графічна модель інформаційних потоків доповнюється текстовим описом, де перелічуються усі цифрові дані, що передаються інформаційними потоками, а також зазначаються основні технічні параметри цих інформаційних потоків (наприклад їх періодичність, швидкість та умови передавання, інші особливості).

На рис. 3.1 і в додатку Б наведена розроблена графова модель інформаційних потоків даного типу лабораторної ІСА для виконання рецептурного управління «віртуальним» періодичним виробництвом.

На цій моделі пунктирними лініями показані технічні засоби різних рівнів даного типу ІСА («SCADA», «MES», «ERP»), на яких мають бути реалізовані ті чи інші функції для рецептурного управління «віртуальним» періодичним виробництвом:

- «АРМ оператора №1 (локальна реалізація)» – «АРМ оператора №5 (локальна реалізація)»;
- «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в OPcenter Execution Process)»;
- «АРМ бізнес-менеджера (локальна реалізація)».

Крім того, всередині цих позначень технічних засобів вказані ті програмні функції (у вигляді нумерованих еліпсів), які реалізовані на обчислювальних ресурсах цих технічних засобів. Також нумерованими стрілками показані усі інформаційні потоки між програмними функціями.

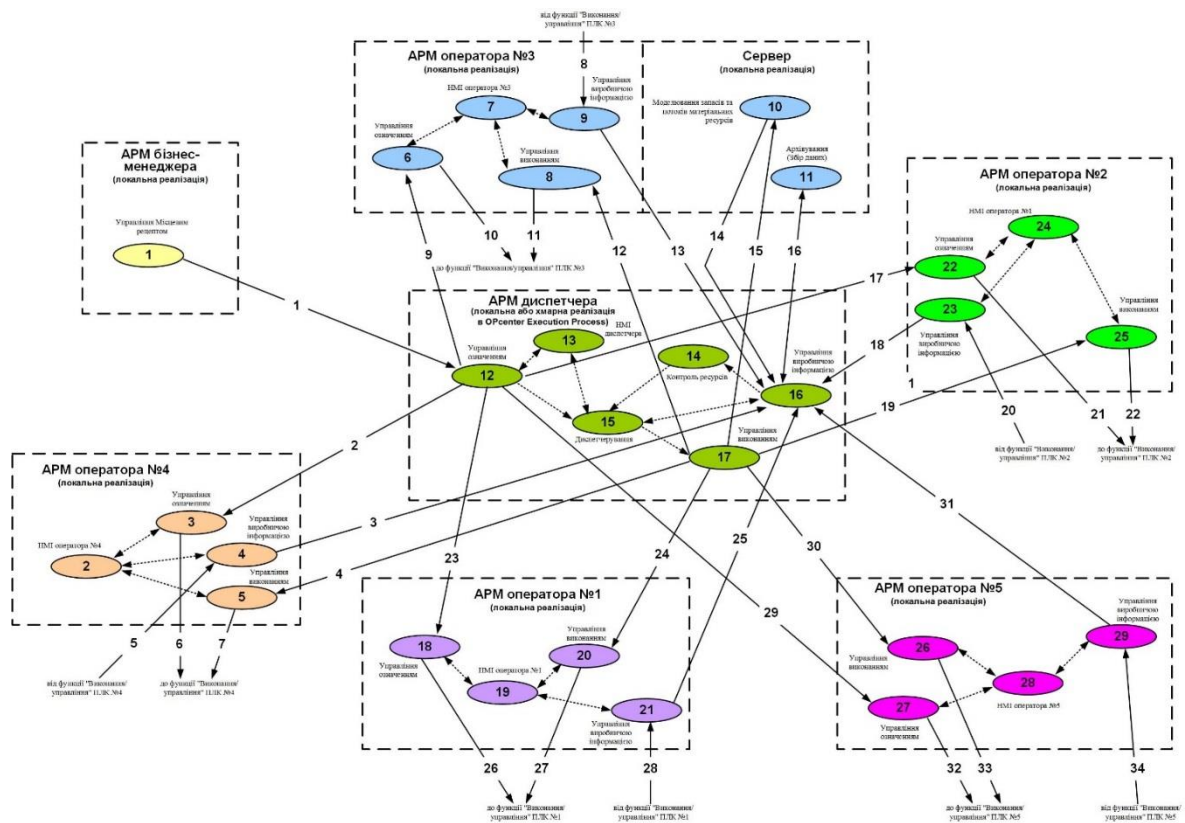


Рисунок 3.1 – Графова модель інформаційних потоків ІСА для рецептурного управління «віртуальним» виробництвом

В таблиці 3.1 надані текстові описи цих програмних функцій.

Таблиця 3.1 – Опис програмних функцій даного типу ІСА

Номер	Функція
1	2
1	«Управління Місцевим рецептом», обчислювальний ресурс – «АРМ бізнес-менеджера (локальна реалізація)
2	«НМІ оператора №4» , обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №4 (локальна реалізація)
3	«Управління означенням», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №4 (локальна реалізація)
4	«Управління виробничою інформацією», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №4 (локальна реалізація)

Продовження таблиці 3.1

1	2
5	«Управління виконанням», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №4 (локальна реалізація)
6	«Управління означенням», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №3 (локальна реалізація)
7	«НМІ оператора №3», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №3 (локальна реалізація)
8	«Управління виконанням», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №3 (локальна реалізація)
9	«Управління виробничою інформацією», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №3 (локальна реалізація)
10	«Моделювання запасів та потоків матеріальних ресурсів», обчислювальний ресурс – «Сервер (локальна реалізація)
11	«Архівування (Збір даних)» , обчислювальний ресурс – «Сервер (локальна реалізація)
12	«Управління означенням», обчислювальний ресурс – «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в OPcenter Execution Process)»
13	«НМІ диспетчера», обчислювальний ресурс – «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в OPcenter Execution Process)
14	«Контроль ресурсів», обчислювальний ресурс – «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в OPcenter Execution Process)»
15	«Диспетчерування», обчислювальний ресурс – «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в OPcenter Execution Process)»
16	«Управління виробничою інформацією», обчислювальний ресурс – «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в OPcenter Execution Process)»
17	«Управління виконанням» , обчислювальний ресурс – «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в OPcenter Execution Process)»
18	«Управління означенням», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №2 (локальна реалізація)
19	«НМІ оператора №2», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №2 (локальна реалізація)
20	«Управління виконанням», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №2 (локальна реалізація)

Продовження таблиці 3.1

1	2
21	«Управління виробничою інформацією», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №2 (локальна реалізація)
22	«Управління означенням», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №1 (локальна реалізація)
23	«Управління виробничою інформацією», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №1 (локальна реалізація)
24	«НМІ оператора №1», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №1 (локальна реалізація)
25	«Управління виконанням», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №1 (локальна реалізація)
26	«Управління виконанням», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №5 (локальна реалізація)
27	«Управління означенням», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №5 (локальна реалізація)
28	«НМІ оператора №5», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №5 (локальна реалізація)
29	«Управління виробничою інформацією», обчислювальний ресурс – «АРМ оператора №5 (локальна реалізація)

В таблиці 3.2 надається текстовий опис інформаційних потоків даного типу ІСА.

Таблиця 3.2 – Опис інформаційних потоків даного типу ІСА

Номер	Інформаційний потік
1	2
1	«Дані Місцевого рецепту»
2	«Дані Майстер рецепту» для ТП виробничого складу
3	«Звіт про виконання Майстер рецепту ТП виробничого складу, аварійні повідомлення»

Продовження таблиці 3.2

1	2
4	«План-графік виконання Майстер рецепту ТП виробничого складу, команди пуску/зупинки ТП»
5	«Поточні параметри роботи технічного устаткування виробничого складу, повідомлення про виконання апаратурного Керівного рецепту та аварійні події»
6	«Дані апаратурного Керівного рецепту або для технічного устаткування виробничого складу, або для трубопроводу №1, або для конвеєра №1»
7	«Команди пуску/зупинки ТП виробничого складу, трубопроводу №1 або конвеєра №1, дані корекції завданих параметрів ТП»
8	«Поточні параметри роботи технологічного устаткування роботизованої пакувальної лінії, повідомлення про виконання апаратурного Керівного рецепту та аварійні події»
9	«Дані Майстер рецепту для ТП роботизованої пакувальної лінії»
10	«Дані апаратурного Керівного рецепту або для технологічного устаткування роботизованої пакувальної лінії, або для конвеєра №2»
11	«Команди пуску/зупинки ТП роботизованої пакувальної лінії або конвеєра №2, дані корекції завданих параметрів ТП»
12	«План-графік виконання Майстер рецепту ТП роботизованої пакувальної лінії, команди пуску/зупинки ТП»
13	«Звіт про виконання Майстер рецепту ТП роботизованої пакувальної лінії, аварійні повідомлення»
14	«Поточні параметри та звіт про виконання Майстер рецепту ТП виробничої транспортної системи (трубопроводи, конвеєри), аварійні повідомлення»
15	«Дані Майстер рецепту та план-графік виконання для ТП виробничої транспортної системи (трубопроводи, конвеєри), команди пуску/зупинки ТП»
16	«Дані Майстер рецепту та пов'язані з ним звіти про виконання Керівних рецептів кожним ТП «віртуального» виробництва

Продовження таблиці 3.2

1	2
17	«Дані Майстер рецепту для ТП промислового накопичувача/дозатора»
18	«Звіт про виконання Майстер рецепту ТП промислового накопичувача/дозатора, поточні параметри, аварійні повідомлення»
19	«План-графік виконання Майстер рецепту ТП промислового накопичувача/дозатора, команди пуску/зупинки ТП»
20	«Поточні параметри роботи технологічного устаткування промислового накопичувача/дозатора, повідомлення про виконання апаратурного Керівного рецепту та аварійні події»
21	«Дані апаратурного Керівного рецепту або для технологічного устаткування промислового накопичувача/дозатора, або для конвеєра №3»
22	«Команди пуску/зупинки ТП промислового накопичувача/дозатора або конвеєра №3, дані корекції завданих параметрів ТП»
23	«Дані Майстер рецепту для ТП промислового хімічного реактора»
24	«План-графік виконання Майстер рецепту ТП промислового хімічного реактора, команди пуску/зупинки ТП»
25	«Звіт про виконання Майстер рецепту ТП промислового хімічного реактора, поточні параметри, аварійні повідомлення»
26	«Дані апаратурного Керівного рецепту або для технологічного устаткування промислового хімічного реактора, або для трубопроводу №2»
27	«Команди пуску/зупинки ТП промислового хімічного реактора або трубопроводу №2, дані корекції завданих параметрів ТП»
28	«Поточні параметри роботи технологічного устаткування промислового хімічного реактора, повідомлення про виконання апаратурного Керівного рецепту та аварійні події»
29	«Дані Майстер рецепту для ТП допоміжного виробництва»

Продовження таблиці 3.2

1	2
30	«План-графік виконання Майстер рецепту ТП допоміжного виробництва, команди пуску/зупинки ТП»
31	«Звіт про виконання Майстер рецепту ТП допоміжного виробництва, поточні параметри, аварійні повідомлення»
32	«Дані апаратного Керівного рецепту або для технологічного устаткування допоміжного виробництва, або для конвеєра №4»
33	«Команди пуску/зупинки ТП допоміжного виробництва або конвеєру №4, дані корекції завданих параметрів ТП»
34	«Поточні параметри роботи технологічного устаткування допоміжного виробництва, повідомлення про виконання апаратного Керівного рецепту та аварійні події»

Перелічені в таблиці 3.1 управлінські функції даного типу ІСА мають інформаційно взаємодіяти між собою за визначеною стандартом логікою при реалізації автоматизованого управління «віртуальним» періодичним виробництвом. Означимо цю логіку інформаційної взаємодії, наприклад для обслуговування НМІ обчислювального ресурсу «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)».

На «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» надходить «Місцевий рецепт» (потік 1), що сформований бізнес-менеджером «віртуального» виробництва. Цей документ обробляється в «Управління означенням» (враховується виробнича інформація, вказана у «Місцевому рецепті», реальні характеристики технологічного обладнання «віртуального» виробництва), в результаті чого формується набір «Майстер рецептів» для задіяних ТП. Крім того, уточняється рецептурна процедура – описуються рецептурні процедури кожної задіяної виробничої комірки, апарату, їх технологічні операції та етапи. Виконання функції «Управління означенням» здійснюється за допомогою функції «НМІ» (Human-Machine Interface). Набір сформованих «Майстер рецептів» надсилається для оброблення двома іншими управлінськими функціями – «Управління виконанням» та «Диспетчерування».

Функція «Диспетчерування» за інформацією з кожного «Майстер рецепту» виконує такі дії: «Пуск/зупинка «віртуального» виробництва» (потоки 4, 12, 15, 19, 24, 30), «Контроль за виконанням рецептів в ході виробництва поточної партії продукції» (потоки 3, 12, 16, 18, 25, 31), «Організація забезпечення «віртуального виробництва» усіма необхідними матеріальними ресурсами» (потоки 14, 15) та ін.

Функція «Управління виконанням» реалізує в режимі реального часу

інформаційну взаємодію з системами управління рівня «SCADA» в процесі «віртуального» виробництва поточної партії продукції. В цій функції передбачені такі задачі: «План-графік виконання Майстер рецептів», «Пуск/зупинка виконання Майстер рецептів», «Забезпечення запасів та організація матеріальних потоків» та ін..

Задача «План-графік виконання Майстер рецептів» використовує оперативну інформацію, що надсилається з підрозділу «Оперативне планування» «віртуального» виробництва, і формує накази на рівень «SCADA» для означення часових обмежень щодо роботи задіяних ТП (потоків 4, 12, 15, 19, 24, 30).

Задача «Пуск/зупинка виконання Майстер рецептів» за наказами від функції «Диспетчерування» виконує «Пуск/зупинку виконання поточних Майстер рецептів» (потоків 4, 12, 15, 19, 24, 30).

Задача «Забезпечення запасів та організація матеріальних потоків» за наказами від функції «Диспетчерування» здійснює управлінські дії, що направлені на рівень «SCADA» для створення там таких запасів матеріальних ресурсів та їх потоків, які необхідні для виконання поточних «Майстер рецептів». В даному типі лабораторної ІСА ці управлінські дії спрямовуються (потік 15) до функції «Моделювання» обчислювального ресурсу «Сервер (локальна реалізація)», де оперативно програмним шляхом розраховуються поточні значення запасів та потоків різних матеріальних ресурсів «віртуального» виробництва.

Функція «Управління виробничою інформацією» повинна з рівня «SCADA» даного типу ІСА збирати (потоків 3, 12, 16, 18, 25, 31) та обробляти оперативну інформацію про виконання задіяними ТП як поточних «Майстер рецептів», так і відповідних «Керівних рецептів». Частина зібраної та обробленої інформації надсилається до функції «Диспетчерування» (здійснюється контроль виконання «Майстер рецептів»), частина цієї інформації надсилається (потік 16) до функції «Архівування (Збір даних)» обчислювального ресурсу «Сервер (локальна реалізація)». Там виконується архівування виробничої інформації по кожному виконаному «Керівному рецепту», яка в подальшому дозволить відстежити історію «виготовлення» кожної порції продукції окремим ТП за окремим «Керівним рецептом».

На обчислювальному ресурсі «АРМ бізнес-менеджера (локальна реалізація)» виконується функція «Управління Місцевим рецептом» в результаті чого формується поточний рецепт на виготовлення «віртуальним» виробництвом нової партії продукції. Цей рецепт на «віртуальному» виробництві може розробляти викладач, що веде практичні чи лабораторні заняття. «Місцевий рецепт» задає формулу виготовлення конкретного типу продукції всіма задіяними ТП й описує їх основні технологічні процедури. Визначаються також загальні вимоги до обладнання цих ТП та часові терміни виготовлення нової партії. Сформований «Місцевий рецепт» надсилається у електронному вигляді на рівень «MES/MOM» даного типу ІСА для його виконання (потік 1).

Обчислювальний ресурс «АРМ оператора №1 (локальна реалізація)» отримує (потік 23) з «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» інформацію у вигляді електронного «Майстер рецепту» на виготовлення наявним технологічним обладнанням (промисловий хімічний реактор) нової порції продукції. Ця інформація обробляється функцією «Управління означенням» за допомогою обслуговуючої функції «НМІ оператора №1», в результаті чого формується екземпляр «Керівного рецепту» для виготовлення хімічним реактором нової порції продукції заданого типу. Далі інформація сформованого екземпляру «Керівного рецепту» транслюється у інформацію екземпляру апаратурного «Керівного рецепту», який у електронному вигляді передається мережею (потік 26) до обчислювального ресурсу «ПЛК №1».

Інформація з екземпляру апаратурного «Керівного рецепту» в обчислювальному ресурсі «ПЛК №1» обробляється функцією «Виконання/управління» (прикладна програма контролера). Прикладна програма контролера, по-перше, інтерпретує інформацію з екземпляру апаратурного «Керівного рецепту», по-друге, вибудовує потрібний алгоритм управління хімічним реактором, по-третє, запускає готовий алгоритм до виконання вбудованим загальним ПЗ (runtime soft). Після запуску ТП виконується контроль його поточних та заданих параметрів, а також передавання мережею потрібної інформації (потік 28) до функції «Управління виробничою інформацією» обчислювального ресурсу «АРМ оператора №1 (локальна реалізація)».

На обчислювальному ресурсі «АРМ оператора №1 (локальна реалізація)» прийнята з «ПЛК №1» інформація обробляється функцією «Управління виробничою інформацією» так, щоб, по-перше, надати оператору оперативну інформацію про хід ТП хімічного реактора (виконання поточного апаратурного «Керівного рецепту»), по-друге, надати диспетчеру ІСА «віртуального» виробництва інформацію і про виконання ТП хімічного реактора поточного «Керівного рецепту», і про виконання «Майстер рецепту» в цілому. Остання інформація передається мережею (потік 25) до функції «Управління виробничою інформацією» «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» і обробляється там обслуговуючою функцією «НМІ диспетчера».

Крім того, обчислювальний ресурс «ПЛК №1» через мережу (потіки 24, 27) отримує інформацію від задачі «Забезпечення запасів та організація матеріальних потоків» обчислювального ресурсу «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» у вигляді електронного екземпляру апаратурного «Керівного рецепту» для виконання транспортування порції рідких матеріальних ресурсів по трубопроводу №2 (транспортування готової хімічної рідини від хімічного реактора по трубопроводу до промислового накопичувача/дозатора). При цьому задача «Забезпечення запасів та організація матеріальних потоків» обчислювального ресурсу «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» використовує обслуговуючу функцію «НМІ диспетчера».

Оброблення інформації апаратурного «Керівного рецепту» функціями обчислювального ресурсу «ПЛК №1» виконується за тим же алгоритмом, що і при описаному вище отриманні апаратурного Керівного рецепту для виготовлення нової порції продукції.

Обчислювальний ресурс «АРМ оператора №2 (локальна реалізація)» отримує (потік 17) з «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в OPCenter Execution Process)» інформацію у вигляді електронного «Майстер рецепту» на виготовлення наявним технологічним обладнанням (промисловий накопичувач/дозатор) нової порції продукції. Ця інформація обробляється функцією «Управління означенням» за допомогою обслуговуючої функції «НМІ оператора №2», в результаті чого формується екземпляр «Керівного рецепту» для «розливу» накопичувачем/дозатором порції продукції заданого типу у задану кількість тари того чи іншого об'єму. Далі інформація сформованого екземпляру «Керівного рецепту» транслюється у інформацію екземпляру апаратурного «Керівного рецепту», який у електронному вигляді передається мережею (потік 21) до обчислювального ресурсу «ПЛК №2».

Інформація з екземпляру апаратурного «Керівного рецепту» в обчислювальному ресурсі «ПЛК №2» обробляється функцією «Виконання/управління» (прикладна програма контролера). Прикладна програма контролера, по-перше, інтерпретує інформацію з екземпляру апаратурного «Керівного рецепту», по-друге, вибудовує потрібний алгоритм управління накопичувачем/дозатором, по-третє, запускає готовий алгоритм до виконання вбудованим загальним ПЗ (runtime soft). Після запуску ТП виконується контроль його поточних та заданих параметрів, а також передавання мережею потрібної інформації (потік 20) до функції «Управління виробничою інформацією» обчислювального ресурсу «АРМ оператора №2 (локальна реалізація)».

На обчислювальному ресурсі «АРМ оператора №2 (локальна реалізація)» прийнята з «ПЛК №2» інформація обробляється функцією «Управління виробничою інформацією» так, щоб, по-перше, надати оператору оперативну інформацію про хід ТП накопичувача/дозатора (виконання поточного апаратурного «Керівного рецепту»), по-друге, надати диспетчеру ІСА «віртуального» виробництва інформацію і про виконання ТП накопичувача/дозатора поточного «Керівного рецепту», і про виконання «Майстер рецепту» в цілому. Остання інформація передається мережею (потік 18) до функції «Управління виробничою інформацією» «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в OPCenter Execution Process)» і обробляється там обслуговуючою функцією «НМІ диспетчера».

Крім того, обчислювальний ресурс «ПЛК №2» через мережу (потіки 19, 22) отримує інформацію від задачі «Забезпечення запасів та організація матеріальних потоків» обчислювального ресурсу «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в OPCenter Execution Process)» у вигляді електронного екземпляру апаратурного «Керівного рецепту» для виконання транспортування твердих матеріальних ресурсів конвеєром №3 (транспортування розфасованою у тару готовою хімічною продукцією від

накопичувача/дозатора, транспортування пустої тари до накопичувача/дозатора). При цьому задача «Забезпечення запасів та організація матеріальних потоків» обчислювального ресурсу «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» використовує обслуговуючу функцію «НМІ диспетчера». Оброблення інформації апаратного «Керівного рецепту» функціями обчислювального ресурсу «ПЛК №2» виконується за тим же алгоритмом, що і при описаному вище отриманні апаратного Керівного рецепту для «розливу» порції продукції.

Обчислювальний ресурс «АРМ оператора №3 (локальна реалізація)» отримує (потік 9) з «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» інформацію у вигляді електронного «Майстер рецепту» на виготовлення наявним технологічним обладнанням (роботизована пакувальна лінія) нової порції продукції. Ця інформація обробляється функцією «Управління означенням» за допомогою обслуговуючої функції «НМІ оператора №3», в результаті чого формується екземпляр «Керівного рецепту» для «пакування» роботизованою пакувальною лінією заданої партії розфасованої продукції у задану кількість картонних коробок того чи іншого розміру. Далі інформація сформованого екземпляру «Керівного рецепту» транслюється у інформацію екземпляру апаратного «Керівного рецепту», який у електронному вигляді передається мережею (потік 10) до обчислювального ресурсу «ПЛК №3».

Інформація з екземпляру апаратного «Керівного рецепту» в обчислювальному ресурсі «ПЛК №3» обробляється функцією «Виконання/управління» (прикладна програма контролера). Прикладна програма контролера, по-перше, інтерпретує інформацію з екземпляру апаратного «Керівного рецепту», по-друге, вибудовує потрібний алгоритм управління роботизованою пакувальною лінією, по-третє, запускає готовий алгоритм до виконання вбудованим загальним ПЗ (runtime soft). Після запуску ТП виконується контроль його поточних та заданих параметрів, а також передавання мережею потрібної інформації (потік 8) до функції «Управління виробничою інформацією» обчислювального ресурсу «АРМ оператора №3 (локальна реалізація)».

На обчислювальному ресурсі «АРМ оператора №3 (локальна реалізація)» прийнята з «ПЛК №3» інформація обробляється функцією «Управління виробничою інформацією» так, щоб, по-перше, надати оператору оперативну інформацію про хід ТП роботизованої пакувальної лінії (виконання поточного апаратного «Керівного рецепту»), по-друге, надати диспетчеру ІСА «віртуального» виробництва інформацію і про виконання ТП роботизованої пакувальної лінії поточного «Керівного рецепту», і про виконання «Майстер рецепту» в цілому. Остання інформація передається мережею (потік 13) до функції «Управління виробничою інформацією» «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» і обробляється там обслуговуючою функцією «НМІ диспетчера».

На обчислювальному ресурсі «Сервер (локальна реалізація)» виконується функція «Архівування (Збір даних)», яка мережею збирає (потік 16) та зберігає звітну інформацію про виконання різними ТП усіх «Майстер рецептів» та відповідних екземплярів «Керівних рецептів». Ця інформація надходить до цього ресурсу з рівня «SCADA» даного типу ІСА. При необхідності, частина цієї інформації за запитом через мережу (потік 16) передається до функції «Диспетчерування» (для перегляду інформації функцією «НМІ диспетчера» щодо історії виконання будь-якого «Майстер рецепту» або екземпляру «Керівного рецепту»). Це забезпечує відстеження (Tracking) історії виготовлення кожної порції продукції на «віртуальному» виробництві.

На обчислювальному ресурсі «Сервер (локальна реалізація)» в даному типі лабораторної ІСА реалізується додаткова функція з програмного моделювання у режимі реального часу всіх матеріальних запасів та матеріальних потоків «віртуального» виробництва. При цьому результати такого програмного моделювання матеріальних потоків (через трубопроводи та на конвеєрах) використовуються в даному типі ІСА як електронні екземпляри апаратурних «Керівних рецептів», які мережею передаються через обчислювальний ресурс «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» до відповідних обчислювальних ресурсів «ПЛК» даного типу ІСА (потоки 4, 7, 11, 12, 19, 22, 24, 27, 30, 33) для здійснення управління роботою тих чи інших електричних імітаційних моделей трубопроводів та конвеєрів. Наприклад, обчислювальний ресурс «ПЛК №3» через мережу (потоки 13, 12) отримує апаратурний «Керівний рецепт» від задачі «Забезпечення запасів та організація матеріальних потоків» обчислювального ресурсу «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» для реалізації транспортування твердих матеріальних ресурсів конвеєром №2 (наприклад транспортування розфасованої у тару готовою хімічної продукції, або транспортування пустих картонних коробок до роботизованої пакувальної лінії, або транспортування заповнених коробок з хімічною продукцією від пакувальної лінії на виробничий склад). При цьому задача «Забезпечення запасів та організація матеріальних потоків» обчислювального ресурсу «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» використовує обслуговуючу функцію «НМІ диспетчера».

Обчислювальний ресурс «АРМ оператора №4 (локальна реалізація)» отримує (потік 2) з «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» інформацію у вигляді електронного «Майстер рецепту» на видачу чи прийом виробничим складом партії/порції того або іншого матеріального ресурсу. Ця інформація обробляється функцією «Управління означенням» за допомогою обслуговуючої функції «НМІ оператора №4», в результаті чого формується екземпляр «Керівного рецепту» для «видачі» чи «прийому» виробничим складом партії/порції вказаного матеріального ресурсу. Далі інформація сформованого екземпляру «Керівного рецепту» транслюється у інформацію екземпляру апаратурного «Керівного

рецепту», який у електронному вигляді передається мережею (потік 6) до обчислювального ресурсу «ПЛК №4».

Інформація з екземпляру апаратного «Керівного рецепту» в обчислювальному ресурсі «ПЛК №4» обробляється функцією «Виконання/управління» (прикладна програма контролера). Прикладна програма контролера, по-перше, інтерпретує інформацію з екземпляру апаратного «Керівного рецепту», по-друге, вибудовує потрібний алгоритм управління обладнанням виробничого складу, по-третє, запускає готовий алгоритм до виконання вбудованим загальним ПЗ (runtime soft). Після запуску ТП виконується контроль його поточних та заданих параметрів, а також передавання мережею потрібної інформації (потік 5) до функції «Управління виробничою інформацією» обчислювального ресурсу «АРМ оператора №4 (локальна реалізація)».

На обчислювальному ресурсі «АРМ оператора №4 (локальна реалізація)» прийнята з «ПЛК №4» інформація обробляється функцією «Управління виробничою інформацією» так, щоб, по-перше, надати оператору оперативну інформацію про хід ТП виробничого складу (виконання поточного апаратного «Керівного рецепту»), по-друге, надати диспетчеру ІСА «віртуального» виробництва інформацію і про виконання ТП виробничого складу поточного «Керівного рецепту», і про виконання «Майстер рецепту» в цілому. Остання інформація передається мережею (потік 3) до функції «Управління виробничою інформацією» «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» і обробляється там обслуговуючою функцією «НМІ диспетчера».

Крім того, обчислювальний ресурс «ПЛК №4» через мережу (потіки 4, 7) отримує інформацію від задачі «Забезпечення запасів та організація матеріальних потоків» обчислювального ресурсу «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» у вигляді електронного екземпляру апаратного «Керівного рецепту» для транспортування твердих матеріальних ресурсів конвеєром №1 зі складу чи на склад, або виконання транспортування рідких матеріальних потоків по трубопроводу №1 (або хімічні реагенти зі складу до хімічного реактора, або готова хімічна продукція від хімічного реактора на склад). При цьому задача «Забезпечення запасів та організація матеріальних потоків» обчислювального ресурсу «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» використовує обслуговуючу функцію «НМІ диспетчера». Оброблення інформації апаратного «Керівного рецепту» функціями обчислювального ресурсу «ПЛК №4» виконується за тим же алгоритмом, що і при описаному вище отриманні апаратного Керівного рецепту для видачі та прийому матеріальних ресурсів виробничим складом.

Обчислювальний ресурс «АРМ оператора №5 (локальна реалізація)» отримує (потік 29) з «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» інформацію у вигляді електронного «Майстер рецепту» на виготовлення наявним технологічним обладнанням (автоматизовані виробничі лінії) партії пустої тари для хімічної продукції. Ця

інформація обробляється функцією «Управління означенням» за допомогою обслуговуючої функції «НМІ оператора №5», в результаті чого формується екземпляр «Керівного рецепту» для виготовлення допоміжним виробництвом партії вказаної пустої тари (наприклад, банки з кришками). Далі інформація сформованого екземпляру «Керівного рецепту» транслюється у інформацію екземпляру апаратурного «Керівного рецепту», який у електронному вигляді передається мережею (потік 32) до обчислювального ресурсу «ПЛК №5».

Інформація з екземпляру апаратурного «Керівного рецепту» в обчислювальному ресурсі «ПЛК №5» обробляється функцією «Виконання/управління» (прикладна програма контролера). Прикладна програма контролера, по-перше, інтерпретує інформацію з екземпляру апаратурного «Керівного рецепту», по-друге, вибудовує потрібний алгоритм управління автоматизованими виробничими лініями, по-третє, запускає готовий алгоритм до виконання вбудованим загальним ПЗ (runtime soft). Після запуску ТП виконується контроль його поточних та заданих параметрів, а також передавання мережею потрібної інформації (потік 34) до функції «Управління виробничою інформацією» обчислювального ресурсу «АРМ оператора №5 (локальна реалізація)».

На обчислювальному ресурсі «АРМ оператора №5 (локальна реалізація)» прийнята з «ПЛК №5» інформація обробляється функцією «Управління виробничою інформацією» так, щоб, по-перше, надати оператору оперативну інформацію про хід ТП автоматизованих виробничих ліній (виконання поточного апаратурного «Керівного рецепту»), по-друге, надати диспетчеру ІСА «віртуального» виробництва інформацію і про виконання ТП допоміжного виробництва поточного «Керівного рецепту», і про виконання «Майстер рецепту» в цілому. Остання інформація передається мережею (потік 31) до функції «Управління виробничою інформацією» «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» і обробляється там обслуговуючою функцією «НМІ диспетчера».

Крім того, обчислювальний ресурс «ПЛК №5» через мережу (потіки 30, 33) отримує інформацію від задачі «Забезпечення запасів та організація матеріальних потоків» обчислювального ресурсу «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» у вигляді електронного екземпляру апаратурного «Керівного рецепту» для виконання транспортування твердих матеріальних ресурсів конвеєром №4 (або матеріалів на допоміжне виробництво, або готової пустої тари з допоміжного виробництва). При цьому задача «Забезпечення запасів та організація матеріальних потоків» обчислювального ресурсу «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в ORcenter Execution Process)» використовує обслуговуючу функцію «НМІ диспетчера». Оброблення інформації апаратурного «Керівного рецепту» функціями обчислювального ресурсу «ПЛК №5» виконується за тим же алгоритмом, що і при описаному вище отриманні апаратурного Керівного рецепту для автоматизованих виробничих ліній.

З наведеного вище опису інформаційної взаємодії функцій даного типу лабораторної ІСА «віртуального» періодичного виробництва при реалізації рецептурного управління на обчислювальний ресурс «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в OPCenter Execution Process)» покладені 4 основні управлінські функції. Такі функції на реальному підприємстві зазвичай виконує спеціальна автоматизована служба. Візьмемо для прикладу функцію «Управління означенням». Стандарти сімейства ІЕС 61512 [15] поділяють поняття «означення» на дві такі групи моделей:

- «Означення продукту»;
- «Доступні ресурси».

Розглянемо модель «Означення продукту». Вона повинна описувати усі необхідні матеріали (тип, кількість, вимоги), очікувані результати (кількість й параметри продукту), вимоги до обладнання, вимоги до додаткових ресурсів, потрібні роботи по управлінню процесом. У термінах даного стандарту такий опис надається у вигляді рецепту (Recipe), При цьому в самому означенні продукту вказується та послідовність необхідних технологічних операцій, яка дозволяє «програмувати» виробничий процес для окремого виду продукту.

Так, для конкретної технологічної комірки лабораторного «віртуального» виробництва, наприклад для промислового хімічного реактору, рецепт повинен мати тип «Майстер рецепт» (Master Recipe). При цьому, як вже було зазначено вище, стандартний зміст такого рецепту має включати такі інформаційні розділи:

- «Заголовок» (Header) – загальна інформація про даний рецепт;
- «Формула» (Formula) – параметри та кількісні характеристики сировини та інших видів ресурсів, які потрібні для виготовлення хімічним реактором чергової порції конкретного виду продукту;
- «Вимоги до обладнання» (Equipment Requirements) – характеристики та тип хімічного реактора, що треба застосувати для виконання даного рецепту;
- «Процедура» (Procedure) – «технологічна програма» виготовлення порції продукту (послідовність технологічних операцій та їх параметрів) для реалізації системою рецептурного процедурного управління хімічним реактором.

Перелічені розділи «Майстер рецепту» для промислового хімічного реактора лабораторного «віртуального» виробництва визначають зміст інформації, яка повинна передаватися потоком 23 (див. рис. 3.1) у розробленій вище графовій моделі інформаційних потоків (див. рис. 3.1). Аналогічну структуру має інформація і інших «Майстер рецептів», які передаються від функції «Управління означенням» обчислювального ресурсу «АРМ диспетчера (локальна або хмарна реалізація в OPCenter Execution Process)» (потоки 2, 9, 17, 23, 29) до відповідних функцій обчислювальних ресурсів «АРМ оператора №2 (локальна реалізація)»-«АРМ оператора №5 (локальна реалізація)».

В стандарті ІЕС 61512 наголошено, що будь-який «Майстер рецепт» є тільки шаблоном, у якому вказується які ресурси і яким чином можуть бути задіяні при виробленні партії/ порції продукту. А за цим шаблоном для конкретної партії/порції продукту вже мають формуватися унікальні екземпляри «Керівного рецепту» (Control Recipe). У екземплярі «Керівного рецепту» інформація з «Майстер рецепту» деталізується, а в процесі виготовлення поточної партії/порції продукту вона ще може і змінюватися.

Тому саме «Керівний рецепт», враховуючи його унікальність, являється тим інформаційним об'єктом, на якому зосереджується вся архівна інформація в даному типі ІСА щодо усього процесу виготовлення тієї чи іншої партії/порції продукту на «віртуальному» виробництві. Такий підхід дозволяє реалізовувати в ІСА таку функцію як «Відстеження» (Tracking) усього процесу вироблення кожної партії/порції продукту.

4 Проєктування програмної інтеграції лабораторної ІСА

Програмна інтеграція системи автоматизації лабораторного «віртуального» виробництва має забезпечити сумісність і спільне використання задіяного програмного забезпечення на всіх рівнях системної ієрархії.

4.1 Аналіз програмного забезпечення лабораторних СА рівня «SCADA»

Системи автоматизації рівня «SCADA» реалізуються студентами-бакалаврами спеціальностей 151 та 174 в лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФІІТА ВНТУ в рамках дисципліни «Проєктування систем автоматизації». Для цього використовується відповідне інструментальне програмне забезпечення, яке було встановлене на ПК лабораторії ще у 2015 році:

- інструментальна система "Movicon 11.3" (розробка та виконання ПЗ автоматизованих робочих місць операторів) [27];
- інструментальна система "WinPLC7, v.5" (розробка прикладних програм промислових контролерів VIPA) [28];
- інструментальна система «VIPA OPC Server, v.6» (розробка та виконання ПЗ промислового OPC-сервера з вбудованими драйверами контролерів VIPA та інтерфейсом доступу до даних «OPC DA») [29, 30];
- інструментальна система «KEPServerEX» (розробка та виконання ПЗ універсального промислового OPC-сервера з інтерфейсами доступу до даних «OPC DA» та універсальним інтерфейсом «OPC UA») [31-33].

Усі вказані інструментальні системи та розроблене за їх допомогою прикладне ПЗ добре суміщені і ефективно працюють разом в складі лабораторних систем рівня «SCADA».

Ця взаємодія програмних засобів показана на рис. 4.1. Як видно з рисунку, в АРМ операторів (АРМ оператора №1, ...) встановлена інструментальна система «SCADA Movicon 11.3», інструментальна система програмування контролерів "WinPLC7" та інструментальна система «VIPA OPC Server». На окремому ПК лабораторії, що виконує роль «Сервер», встановлена інструментальна система «KEPServerEX», за допомогою якої розроблений та реалізований відповідний сервер виробничих даних реального часу. Контролери лабораторних СА (ПЛК №1, ...) виконують прикладні програми «PLCprog.bin» керування відповідними лабораторними моделями ТП (ТП №1, ...), використовуючи при цьому масиви даних «PLCprogData» (параметри керування). Програми «PLCprog.bin» розробляються за допомогою інструментальної системи "WinPLC7" в АРМ оператора і завантажуються в

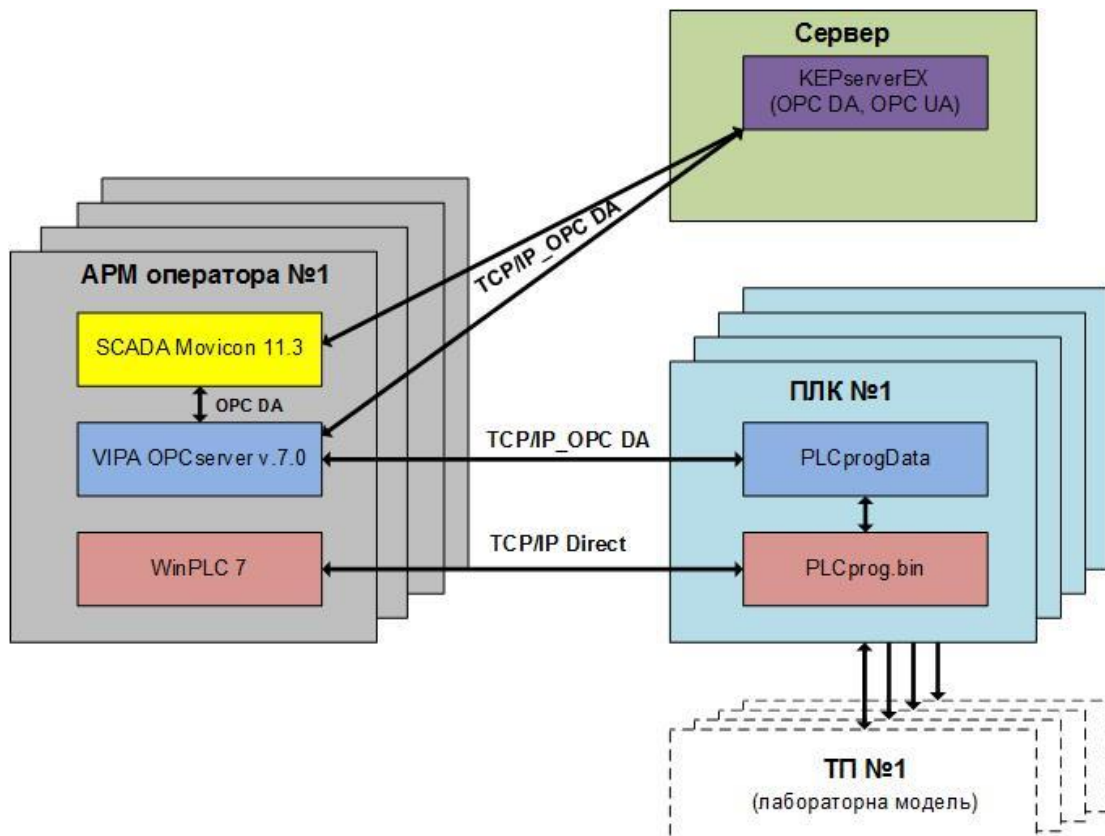


Рисунок 4.1 – Програмна інтеграція в лабораторних СА рівня «SCADA»

контролери через мережу за протоколом «TCP/IP Direct». Масиви даних «PLCprogData» (параметри керування) задаються в ПЗ оператора («SCADA Movicon 11.3») і через сервер «VIPA OPC Server, v.6» і мережу з протоколом «TCP/IP OPC DA» також записуються в пам'ять контролера.

Збір виробничих даних реального часу здійснюється в програмі «KEPServerEX» на ПК «Сервер» через мережу з протоколом «TCP/IP OPC DA» з програм «SCADA Movicon 11.3» та «VIPA OPCserver v.7.0» APM оператора. В цьому випадку програма «SCADA Movicon 11.3» виступає в ролі OPC-сервера.

Основний висновок з проведеного аналізу – існуючі програмні засоби лабораторії вже суттєво застаріли (це зразки 2015 року) і їх інтеграція з більш сучасними зразками промислового ПЗ, наприклад з «OPcenter Execution Process», буде важко або навіть неможливо реалізувати.

4.2 Програмна інтеграція лабораторної ICA при використанні хмарних інструментів «OPcenter Execution Process»

Розглянемо варіант типу лабораторної ICA «віртуальним» виробництвом, коли рівень «MES» буде реалізовуватися переважно на хмарній платформі «Siemens Mindsphere Cloud» (рис. 4.2).

Хмарна реалізація ICA

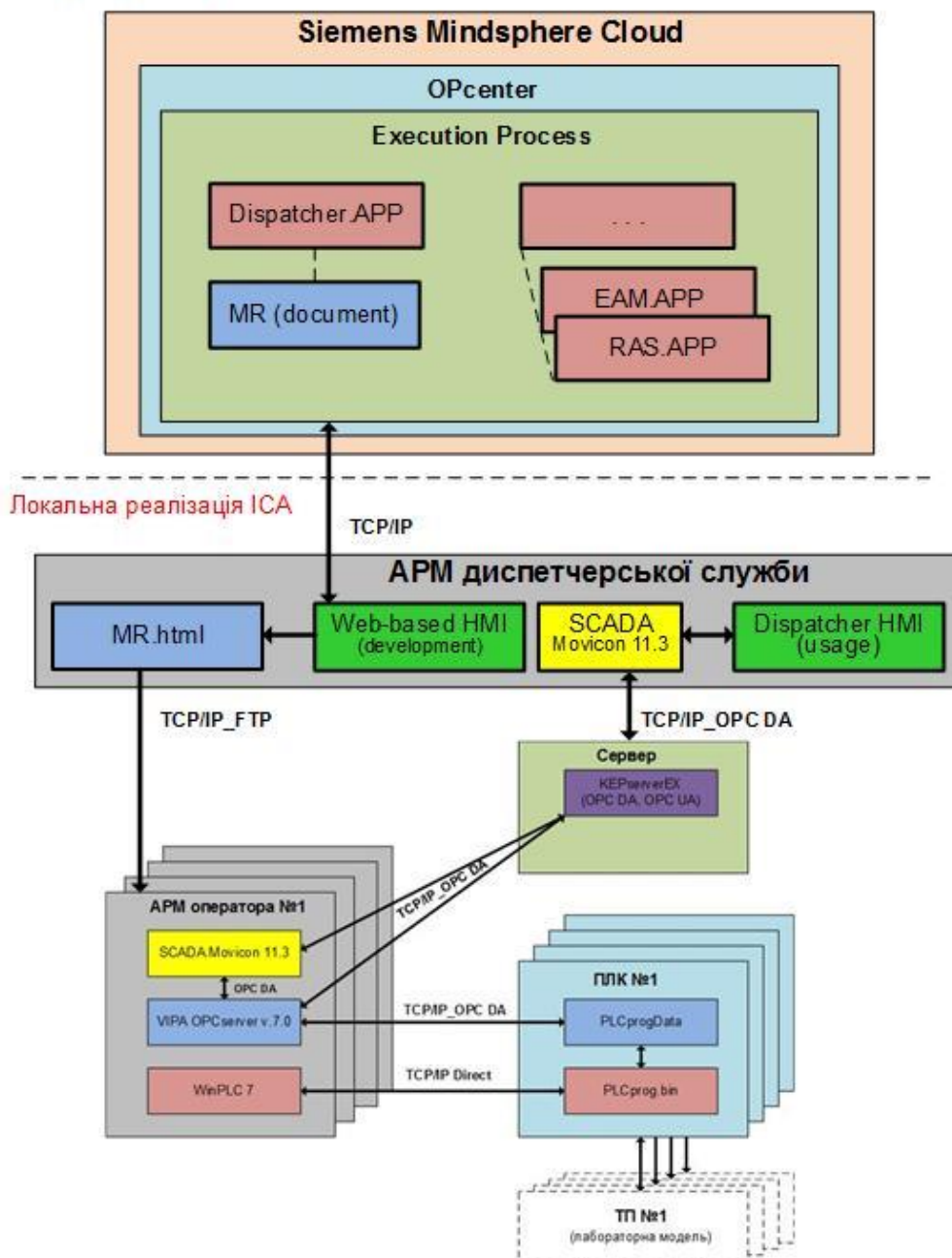


Рисунок 4.2 – Програмна інтеграція лабораторної ICA з хмарною платформою «OPcenter» для рецептурного управління виробництвом

Тоді на цій хмарній платформі в області «OPcenter» можна буде використовувати інструменти вибраного нами модуля «OPcenter Execution Process»). Доступ до цих інструментів буде здійснюватися через мережу Інтернет з локального ПК лабораторії, наприклад «АРМ диспетчерської служби», через звичайний Інтернет-браузер («Web-based HMI (development)»). В ході розробки відповідного хмарного додатку, наприклад «Dispatcher.APP», буде здійснюватися його налаштування та запуск до дії, в результаті чого

можна буде сформувати якісь електронні документи, наприклад «Майстер рецепт» для якогось лабораторного ТП («MR (document)»). Цей документ, на жаль, буде мати формат, який існуюча в лабораторії система «SCADA Movicon 11.3» не може обробити, бо не призначена для цього (застаріла версія). Тому пропонується за допомогою «Web-based HMI (development)» на локальному «АРМ диспетчерської служби» зберегти готовий документ («MR (document)» на жорсткому диску у поширеному форматі, наприклад «MR.html».

Далі цей електронний документ «Майстер рецепту» вже по локальній мережі лабораторії за протоколом «TCP/IP_FTP» можна буде переслати до відповідного «АРМ оператора», де його можна буде переглянути за допомогою звичайного Інтернет-браузера та виконати подальшу розробку апаратного «Керівного рецепту» для його завантаження до масиву даних «PLCprogData» відповідного контролера.

Коли лабораторний ТП буде запущений до дії, то згідно з розробленими вище схемами інформаційної структури даного типу ІСА з контролера та «АРМ оператора» необхідно передавати до «АРМ диспетчерської служби» поточні звіти про виконання «Керівного рецепту». Ця передача до хмарного додатку «Dispatcher.APP» в даному випадку неможлива (немає відповідного каналу зв'язку). Тому пропонується реалізувати частину функцій диспетчерування на локальному «АРМ диспетчерської служби», створивши там людино-машинний інтерфейс диспетчера «Dispatcher HMI (usage)» за допомогою інструментальної системи «SCADA Movicon 11.3». Дані, які будуть відображатися на цьому HMI спочатку збираються сервером виробничих даних на основі «KEPServerEX» (ПК «Сервер») через мережу з протоколом «TCP/IP_OPC DA» з програм «SCADA Movicon 11.3» та «VIPA OPCserver v.7.0» відповідного «АРМ оператора». В цьому випадку програма «SCADA Movicon 11.3» виступає в ролі OPC-сервера. Далі інформація з «KEPServerEX» (ПК «Сервер») по мережі з протоколом «TCP/IP_OPC DA» передається до програми «SCADA Movicon 11.3» на «АРМ диспетчерської служби». При цьому ця «SCADA Movicon 11.3» виступає в ролі OPC-клієнта.

Описана програмна інтеграція має суттєвий недолік – хмарний додаток «Dispatcher.APP» використовується лише частково (для розробки «Майстер рецепту»), а решта функцій виконується вже локально. Тобто робоче місце диспетчера розірвано на дві частини – хмарну та локальну.

Для того, щоб усунути цей недолік пропонується встановити в лабораторії додаткове сучасне промислове апаратне та програмне забезпечення, наприклад шлюз Інтернету речей «SIMATIC IOT2000» від компанії Siemens [34]. Шлюз «SIMATIC IOT2000» - це простий спосіб для підключення машин і обладнання до ІТ або хмари для більш ефективної, прозорої і гнучкої організації робочих процесів в рамках руху до Індустрії 4.0. Цей шлюз в якості інтелектуального інтерфейсу забезпечує збір, аналіз і передачу даних в ІТ або хмару. Система на його основі може працювати з безліччю протоколів, наприклад, S7, OPC UA, Modbus TCP, TCP / IP; UDP, MQTT Subscriber і Modbus RTU, використовуючи для цього різні інтерфейси, наприклад, RS232/422/485, послідовний USB інтерфейс, Ethernet або WiFi

через mPCle. Через ці відкриті протоколи забезпечується взаємодія з такими хмарними системами, як «Mindsphere», «AWS», «Azure», «IBM Bluemix» та іншими хмарними системами.

На рис. 4.3 показаний варіант реалізації програмної інтеграції на основі шлюзу Інтернету речей «CIMATIC IOT2000».

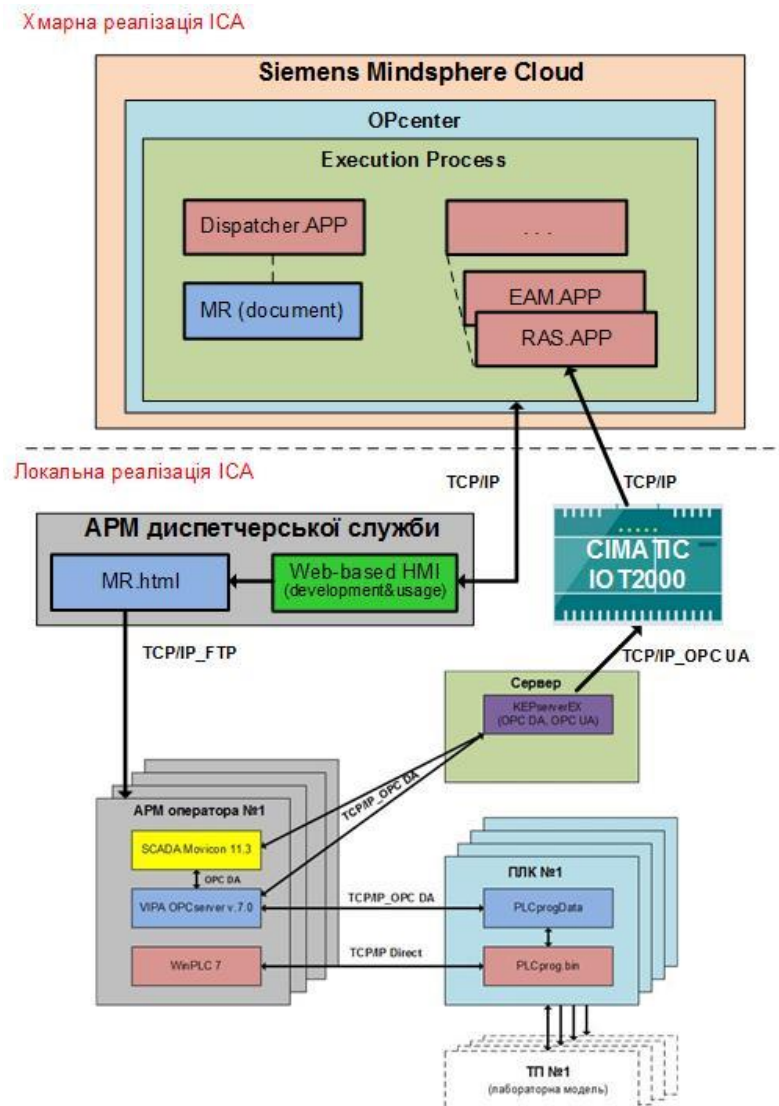


Рисунок 4.3 – Програмна інтеграція за допомогою шлюзу Інтернету речей «CIMATIC IOT2000»

Це рішення передбачає вже пряму передачу виробничих даних з рівня «SCADA» до хмарних додатків рівня «MES». Для цього шлюз «CIMATIC IOT2000» через локальну мережу лабораторії і протокол «TCP/IP_OPC UA» збирає потрібні дані з сервера «KEPServerEX» (ПК «Сервер») і через вбудований програмний агент пересилає їх через мережу Інтернет до відповідного хмарного додатку, що працює на платформі «OPcenter Execution Process» («Dispatcher.APP», «RAS.APP», «EAM.APP» та ін.). Проте в цій конфігурації залишається передача документів «Майстер рецепту» з хмарного додатку до локального «АРМ оператора» за допомогою файлів «MR.html».

Для того, щоб ще оптимізувати програмну інтеграцію даного типу лабораторної ICA пропонується оновити деякі програми рівня «SCADA», наприклад замінити існуючі інструменти «SCADA Movicon 11.3» на більш сучасні «SCADA Movicon 11.6», які вже мають, як і шлюз «CIMATIC IOT2000», вбудований інтерфейс «OPC UA» [35]. Тоді збирання виробничих даних шлюзом «CIMATIC IOT2000» можна буде здійснювати напряму з прикладних програм «APM операторів» на основі «SCADA Movicon 11.6» (рис. 4.4).

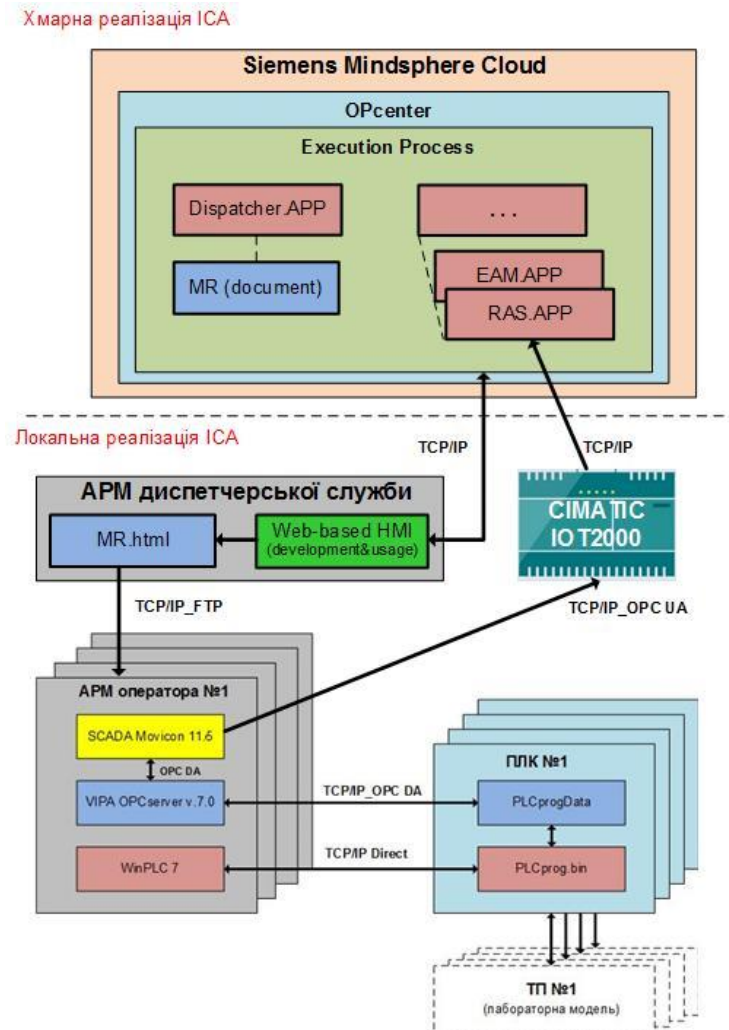


Рисунок 4.4 – Програмна інтеграція за допомогою шлюзу «CIMATIC IOT2000» та сучасної програми «SCADA Movicon 11.6»

4.3 Програмна інтеграція лабораторної ICA при використанні локальних інструментів «OPcenter Execution Process»

З проєктних робіт, виконаних у попередньому підрозділі, можна зробити висновок, що для реалізації програмної інтеграції даного типу лабораторної ICA «віртуального» періодичного виробництва при використанні хмарної реалізації її рівня «MES» досить складно отримати просте і надійне рішення. Тому розглянемо інший варіант побудови такої

системи. Візьмемо не хмарну, а локальну реалізацію рівня «MES» на окремих ПК лабораторії. Для цього треба буде придбати і відповідну версію інструментального середовища «OPcenter Execution Process», яке призначене для встановлення на ПК. Звичайно, цей варіант буде набагато дорожчим ніж попередній, проте значно спростить програмне рішення системи.

Тоді на окремому ПК лабораторії, наприклад «АРМ диспетчерської служби (локальна реалізація)» будуть встановлені або відповідні інструменти «OPcenter Execution Process», або вся ця інструментальна система (рис. 4.5).

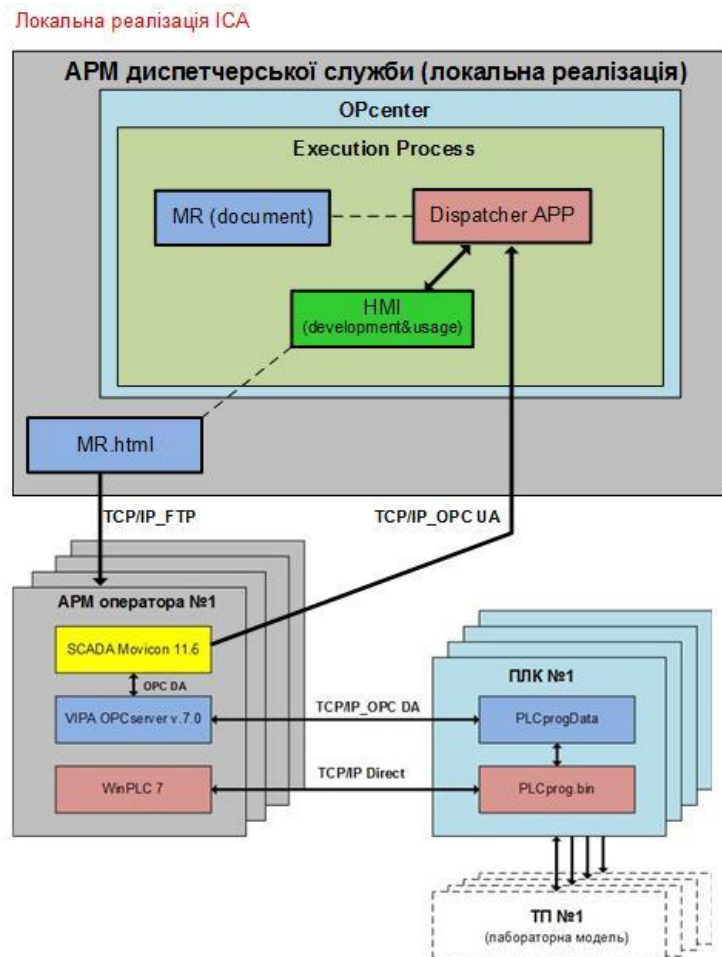


Рисунок 4.5 – Програмна інтеграція з використанням локальної версії «OPcenter Execution Process»

Доступ до цих інструментів буде здійснюватися вже через вбудований людино-машинний інтерфейс цієї системи («HMI (development&usage)»). В ході розробки відповідного хмарного додатку, наприклад «Dispatcher.APP», буде також здійснюватися його налаштування та запуск до дії, в результаті чого можна буде сформувати якісь електронні документи, наприклад «Майстер рецепт» для якогось лабораторного ТП («MR (document)»). Цей документ також, на жаль, буде мати формат, який навіть нова інструментальна система «SCADA Movicon 11.6» не зможе обробити, бо також не призначена для цього [35]. Тому за допомогою «HMI (development&usage)» на локальному «АРМ диспетчерської служби» також треба буде зберігати готовий документ

(«MR (document)» на жорсткому диску у поширеному форматі, наприклад «MR.html».

Далі цей електронний документ «Майстер рецепту» також по локальній мережі лабораторії за протоколом «TCP/IP_FTP» буде пересилатися до відповідного «АРМ оператора», де його можна буде переглянути за допомогою звичайного Інтернет-браузера та виконати подальшу розробку апаратного «Керівного рецепту» для його завантаження до масиву даних «PLCprogData» відповідного контролера.

Коли лабораторний ТП буде запущений до дії, то з контролера та «АРМ оператора» будуть передаватися до «АРМ диспетчерської служби» (до додатку «Dispatcher.APP») поточні дані та звіти про виконання «Керівного рецепту». При цьому застосовуватиметься протокол «TCP/IP OPC UA», який підтримується і «SCADA Movicon 11.6» (АРМ оператора), і локальною версією «OPcenter Execution Process». Отримані дані за допомогою «Dispatcher.APP» і «HMI (development&usage)» відображаються на екрані ПК для диспетчера, який виконує управління «віртуальним» періодичним виробництвом.

Висновки

В результаті виконання 1 розділу БКР був означений життєвий цикл системи автоматизації, який мають досліджувати бакалаври, обґрунтовано вибраний екземпляр системи автоматизації для цього дослідження, обґрунтований вибір інструментів платформи «Siemens OPcenter» для побудови нового навчального засобу та розроблена архітектурна модель його активів (обладнання/інструменти/дані).

В результаті виконання розділу 2 БКР було спроектовано організаційну структуру автоматизованого управління «віртуальним» виробництвом та інтеграцію основних управлінських функцій, функціональну інтеграцію лабораторної системи автоматизації для рецептурного управління «віртуальним» виробництвом. На основі цих результатів далі розроблялися відповідні інформаційні структури лабораторної ІСА, що лежить в основі нового навчального засобу.

В результаті виконання розділу 3 БКР була описана інформаційна взаємодія функцій ІСА для реалізації рецептурного управління «віртуальним» виробництвом, що дозволило далі спроектувати таку програмну інтеграцію лабораторної ІСА, яка забезпечує реалізацію такої інформаційної структури.

В результаті виконання розділу 4 БКР запропоновані різні рішення для програмної інтеграції лабораторної ІСА, які дозволяють бакалаврам в ході навчального практикуму частково або повністю реалізувати спроектовані у попередніх розділах функціональні та інформаційні структури даної системи.

Висновки

В результаті виконання 1 розділу БКР був означений життєвий цикл системи автоматизації, який мають досліджувати бакалаври, обґрунтовано вибраний екземпляр системи автоматизації для цього дослідження, обґрунтований вибір інструментів платформи «Siemens OPcenter» для побудови нового навчального засобу та розроблена архітектурна модель його активів (обладнання/інструменти/дані).

В результаті виконання розділу 2 БКР було спроектовано організаційну структуру автоматизованого управління «віртуальним» виробництвом та інтеграцію основних управлінських функцій, функціональну інтеграцію лабораторної системи автоматизації для рецептурного управління «віртуальним» виробництвом. На основі цих результатів далі розроблялися відповідні інформаційні структури лабораторної ІСА, що лежить в основі нового навчального засобу.

В результаті виконання розділу 3 БКР була описана інформаційна взаємодія функцій ІСА для реалізації рецептурного управління «віртуальним» виробництвом, що дозволило далі спроектувати таку програмну інтеграцію лабораторної ІСА, яка забезпечує реалізацію такої інформаційної структури.

В результаті виконання розділу 4 БКР запропоновані різні рішення для програмної інтеграції лабораторної ІСА, які дозволяють бакалаврам в ході навчального практикуму частково або повністю реалізувати спроектовані у попередніх розділах функціональні та інформаційні структури даної системи.

Література

1. Reference Models for Digital Manufacturing Platforms/ Francisco Fraile, Raquel Sanchis, Raul Poler, Angel Ortiz// MDPI: Appl. Sci. 2019, 9, 4433; doi:10.3390/app9204433 [Електронний ресурс] / URL : www.mdpi.com/journal/applsci.
2. Peter Adolphs. RAMI 4.0: An architectural Model for Industrie 4.0 [Електронний ресурс] / URL: www.plattform-i40.de.
3. Тривимірна еталонна архітектурна модель RAMI 4.0 [Електронний ресурс] / URL: <https://www.phoenixcontact.com>.
4. Система управління життєвим циклом створює умови інвестиційної безпеки для виробників та користувачів [Електронний ресурс] / URL: <https://www.phoenixcontact.com>.
5. Пупена О. Огляд сучасних стандартів інтегрованого виробництва / О. Пупена, І. Ельперін, Р. Міркевич С. // Автоматизація технологічних і бізнес - процесів. – 2016. – Т. 8. – №3. – С. 63-74.
6. Opcenter – Manufacturing operations management [Електронний ресурс] / URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/opcenter/>.
7. Бойко П.О., Мізерний В.М., Папінов В.М. Навчальний засіб на основі Simens Opcenter Execution для дослідження життєвого циклу екземпляру (instance) промислової системи автоматизації / Матеріали 54-ої науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ) [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2025/paper/view/24226/20003>.
8. ДСТУ ISO IEC IEEE 15288_2016. Інженерія систем і програмного забезпечення. Процеси життєвого циклу систем. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 84с. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.yumpu.com/xx/document/read/67240647/-iso-iec-ieee-15288-2016-/7>.
9. ДСТУ ISO/IEC/IEEE 15289:2019 (ISO/IEC/IEEE 15289:2017, IDT). Інженерія систем і програмних засобів. Уміст інформаційних об'єктів життєвого циклу (документації) [Електронний ресурс]. URL: <https://csm.kiev.ua/nd/nd.php?b=1&z=%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%20ISO&l=5440>.
10. Руденська Г. В. Моделі та процеси життєвого циклу інформаційної системи управління оборонними ресурсами [Електронний ресурс]. URL: <http://znp-cvsvd.nuou.org.ua/article/view/201393/201412>.
11. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник./ О.М. Пупена, І.В.Ельперін, Н.М.Луцька, А.П.Ладанюк – К.: Вид-во "Ліра-К", 2011. – 552 с.
12. 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.

13. Офіційний сайт компанії "СВ АЛЬТЕРА" в Україні [Електронний ресурс]. URL: www.svaltera.ua.

14. Папінов В.М. Лабораторна імітація "навчальної фабрики": гібридне моделювання матеріальних потоків / В.М. Папінов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. - 2020. - №2(40). - С.65-81.

15. Batch Control. Part 1: Models and Terminology: ANSI/ISA-88.00.02-2001. - [Чинний від 2010-01-01]. - USA: International Society of Automation.

16. Batch Control. Part 1: Models and Terminology: IEC 61512-1:1997. - [Чинний від 1997-01-01]. - International electrotechnical commission.

17. Запорожець Ю.А., Плашихін С.В., Складанний Д.М. Проектування систем автоматизації. Практикум. Ч. 1: Навч. посібник. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 74 с.

18. Пушкар М.С., Проценко С.М. Проектування систем автоматизації: Навч. посібник. – Дніпропетровськ: НГУ, 2013. – 268 с.

19. Opcenter Execution Process [Електронний ресурс]. URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/opcenter/execution/process/>.

20. Siemens Opcenter Execution Process [Електронний ресурс]. URL: <https://www.indx.com/en/product/siemens-opcenter-execution-process-simatic-it-uapi>.

21. Manufacturing Execution System [Електронний ресурс]. URL: <https://snicsolutions.com/solutions/manufacturing-execution-system-mes>.

22. Wiki : ВНТУ [Електронний ресурс]. URL : <https://wiki.vntu.edu.ua>.

23. Opcenter Execution: Book Your Free Demo [Електронний ресурс]. URL : <https://snicsolutions.com/contact/get-a-demo>.

24. Основи побудови комп'ютерно-інтегрованих систем [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укладачі: С. В. Любицький, П. В. Новіков ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 77 с.

25. Лабораторна модель промислового хімічного реактора (фаза 1 основного технологічного процесу) / Укладач: Папінов В.М. – Вінниця, ВНТУ, 2020. – 11 с.

26. MESA International : Міжнародна асоціація MES [Електронний ресурс]. URL: <http://www.mesa.org/>.

27. Movicon 11 : monitoring vision and control [Електронний ресурс]. URL: https://www.svaltera.ua/catalogs/knowledge-base/brands/progea/movicon_control_and_visualization_general_information.pdf.

28. WinPLC7. Version 5. User Manual – English. – Herzogenaurach: VIPA GmbH, 2011. – 196 р.

29. Офіційний сайт міжнародної некомерційної організації "OPC Foundation" [Електронний ресурс]. URL: www.opcfoundation.org.

30. OPC-Server V7.0. SW110Ax. Manual. – Herzogenaurach: VIPA GmbH, 2012. – 78 p.
31. Офіційний сайт Kepware Technologies [Електронний ресурс]. URL: www.kepware.com.
32. KEPServerEX V6. Manual [Електронний ресурс]. URL : <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/documents/kepserverex-v5-manual.pdf>.
33. OPC UA Information Model Kit for manufacturing use cases/ SiOME / Version 3.0 [Електронний ресурс]. URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/109814835/>
34. SIMATIC IOT2000 [Електронний ресурс]. URL: www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/simatic-na-bazi-pc/shlyuzy-dannyh-iot/simatic-iot2000.html.
35. Програмна платформа Movicon: нова версія 11.6 [Електронний ресурс]. URL: <https://svaltera.lviv.ua/2021/04/13/programna-platforma-movicon-nova-versiya-11-6/>.

Додатки

Додаток А
(обов'язковий)

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри АІТ
д.т.н., професор Олег БІСІКАЛО

“ 23 ” березня 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на бакалаврську кваліфікаційну роботу (у формі проєкту)

«Навчальний засіб для практичного курсу дисципліни «Проектування систем
автоматизації»

08-31.БКР.002.02.000 ТЗ

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи:
проф. каф. АІТ Віктор МІЗЕРНИЙ

“ 23 ” травня 2025 р.

Розробив студент гр. АКІТ-21бз

Павло БОЙКО

“ 23 ” травня 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

1 Назва і галузь застосування

1.1 Назва - Навчальний засіб (НЗ) для практичного курсу дисципліни «Проектування систем автоматизації».

1.2 Галузь застосування - навчальний процес вищого навчального закладу з підготовки фахівців зі спеціальностей 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка".

2 Підстава для проведення розробки

Розробку НЗ проводити на підставі наказу по ВНТУ №_97_ від _20.03.2025 р. та індивідуального завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу у формі проєкту, складеного та затвердженого кафедрою автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій ВНТУ.

3 Мета та призначення розробки

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР) у формі проєкту є розробка на основі обґрунтовано вибраного програмного інструменту Siemens ORcenter ескізного проєктного рішення нового навчального засобу (НЗ) для практичного освоєння бакалаврами спеціальності 174 в рамках дисципліни «Проектування систем автоматизації» способу відображення й обробки цифрового життєвого циклу екземпляру промислової системи автоматизації, що реалізує управління виробничими операціями.

Використання НЗ дозволять створити умови для індивідуальної когнітивної діяльності бакалаврів при рішенні реальних проєктних задач, сприятиме більш глибокому вивченню студентами теоретичного матеріалу навчальної дисципліни, а також дасть можливість сформулювати у студентів відповідні професійно-орієнтовані практичні уміння та навички проєктування промислових систем автоматизації.

4 Джерела розробки

Бакалаврська кваліфікаційна робота у формі проєкту виконується вперше. В ході проведення розробки повинні використовуватись такі документи:

1. Reference Models for Digital Manufacturing Platforms/ Francisco Fraile, Raquel Sanchis, Raul Poler, Angel Ortiz// MDPI: Appl. Sci. 2019, 9, 4433; doi:10.3390/app9204433 [Електронний ресурс] / URL : www.mdpi.com/journal/applsci.

2. Пупена О. Огляд сучасних стандартів інтегрованого виробництва / О. Пупена, І. Ельперін, Р. Міркевич Є. // Автоматизація технологічних і бізнес - процесів. – 2016. – Т. 8. – №3. – С. 63-74.
3. Opcenter – Manufacturing operations management [Електронний ресурс] / URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/opcenter/>.
4. 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.
5. Папінов В.М. Лабораторна імітація «навчальної фабрики»: гібридне моделювання матеріальних потоків / В.М. Папінов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2020. - №2(40). – С.65-81.
6. Основи побудови комп'ютерно-інтегрованих систем [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укладачі: С. В. Любицький, П. В. Новіков ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 77 с.

5 Вимоги до розробки

Об'єктом досліджень є навчальний процес підготовки у вищому технічному навчальному закладі фахівців з автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки.

Предметом досліджень є підвищення ефективності практичного вивчення студентами методів та засобів реалізації життєвого циклу промислових систем автоматизації за рахунок використання в навчальному процесі сучасного навчального засобу.

Для досягнення мети розробки мають бути вирішені такі задачі:

1. Означення життєвого циклу промислової системи автоматизації.
2. Вибір екземпляру промислової системи автоматизації для навчального практикуму.
3. Обґрунтування вибору програмних інструментів Siemens Opcenter.
4. Розробка архітектурної моделі активів (обладнання/ інструменти/дані) нового навчального засобу.
5. Розробка технічного завдання на БКР.
6. Проектування функціональної структури системи автоматизації для нового НЗ.
7. Проектування інформаційної структури системи автоматизації для
8. Нового НЗ.
9. Проектування програмної інтеграції системи автоматизації для нового НЗ.

Новий НЗ має будуватися за архітектурою, що описана в розділі 1 та показана на рисунку 1.8. Основними компонентами даної архітектури є такі:

- інформаційні хмарні сервіси компанії Google («Google Cloud»);
- інструменти хмарної платформи «Microsoft Office 365 for Education»;
- інструменти «OPcenter Execution Process» (OEP) хмарної платформи «OPcenter Cloud».

В якості вихідних активів-даних для початку навчального дослідження в НЗ використовуються файли прикладного програмного забезпечення (ПЗ) та пов'язана з ними технічна документація, яку розробляють студенти-бакалаври у 1 семестрі в ході лабораторного практикуму з дисципліни «Проектування систем автоматизації». Ці дані описують проекти систем автоматизації (СА) окремих лабораторних технологічних/технічних процесів (ТП), які моделюються засобами комп'ютеризованої лабораторної системи.

НЗ повинен забезпечувати нормальний режим роботи без втрати працездатності на протязі навчального року.

Умови експлуатації навчального засобу:

- температурний повітря від плюс 10 °С до плюс 35 °С;
- допустима вологість повітря до 90%;
- динамічні удари та вібрація виключені.

6 Стадії розробки

6.1. Розділ «Техніко-економічне обґрунтування кваліфікаційного проєкту» та розробка концепції функціональної структури ІСА мають бути виконані до 26.04.25 р.

6.2. Проектування функціональної інтеграції лабораторної ІСА для НЗ має бути виконана до 10.05.25 р.

6.3. Проектування інформаційної інтеграції лабораторної ІСА для НЗ має бути виконана до 24.05.25 р.

6.4. Проектування програмної інтеграції лабораторної ІСА для НЗ повинно бути виконано до 31.05.25 р.

7 Порядок контролю та приймання

7.1 Рубіжний контроль – 03-07.06.25 р.

7.2 Попередній захист – 10-15.06.25 р.

7.3 Захист БКР – в період з 16.06.25 по 23.06.25 р. за графіком, встановленим кафедрою АІТ.

Додаток Б
(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

НАВЧАЛЬНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ПРАКТИЧНОГО КУРСУ ДИСЦИПЛІНИ
«ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ»

Розробив:

_____ Павло БОЙКО
“ ” _____ 2025 р.

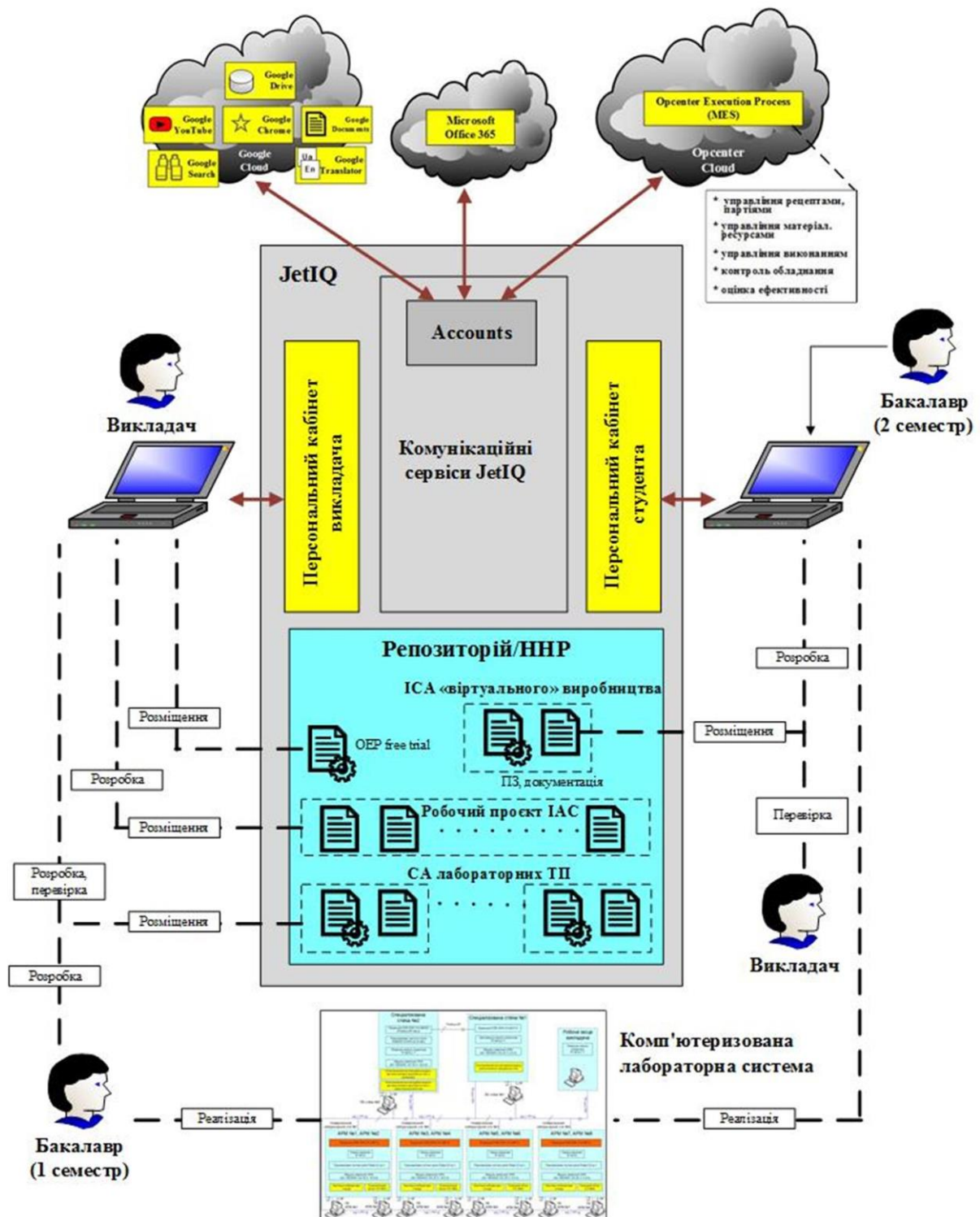
Перевірив:

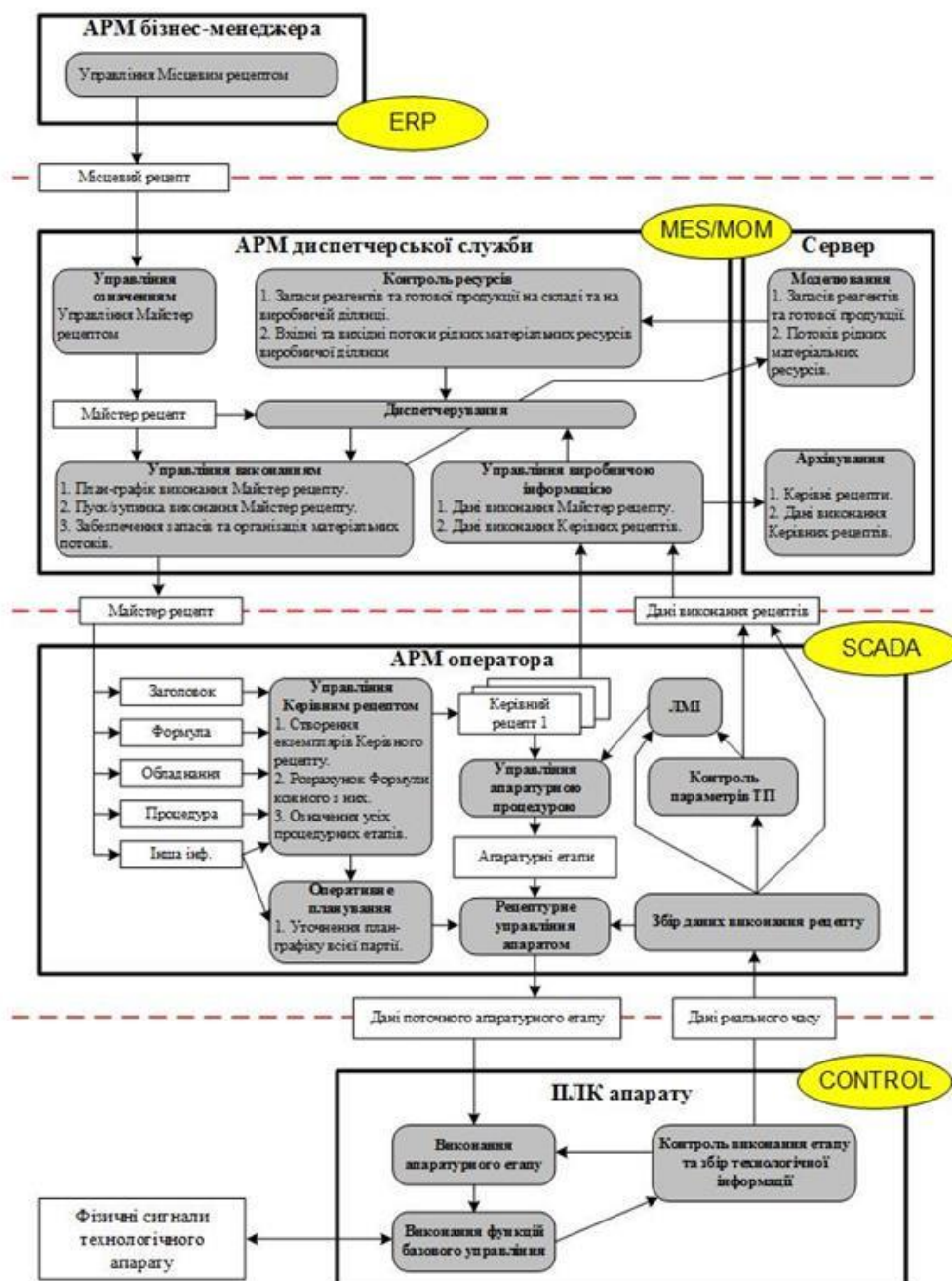
_____ Віктор МІЗЕРНИЙ
“ ” _____ 2025 р.

Рецензент: _____

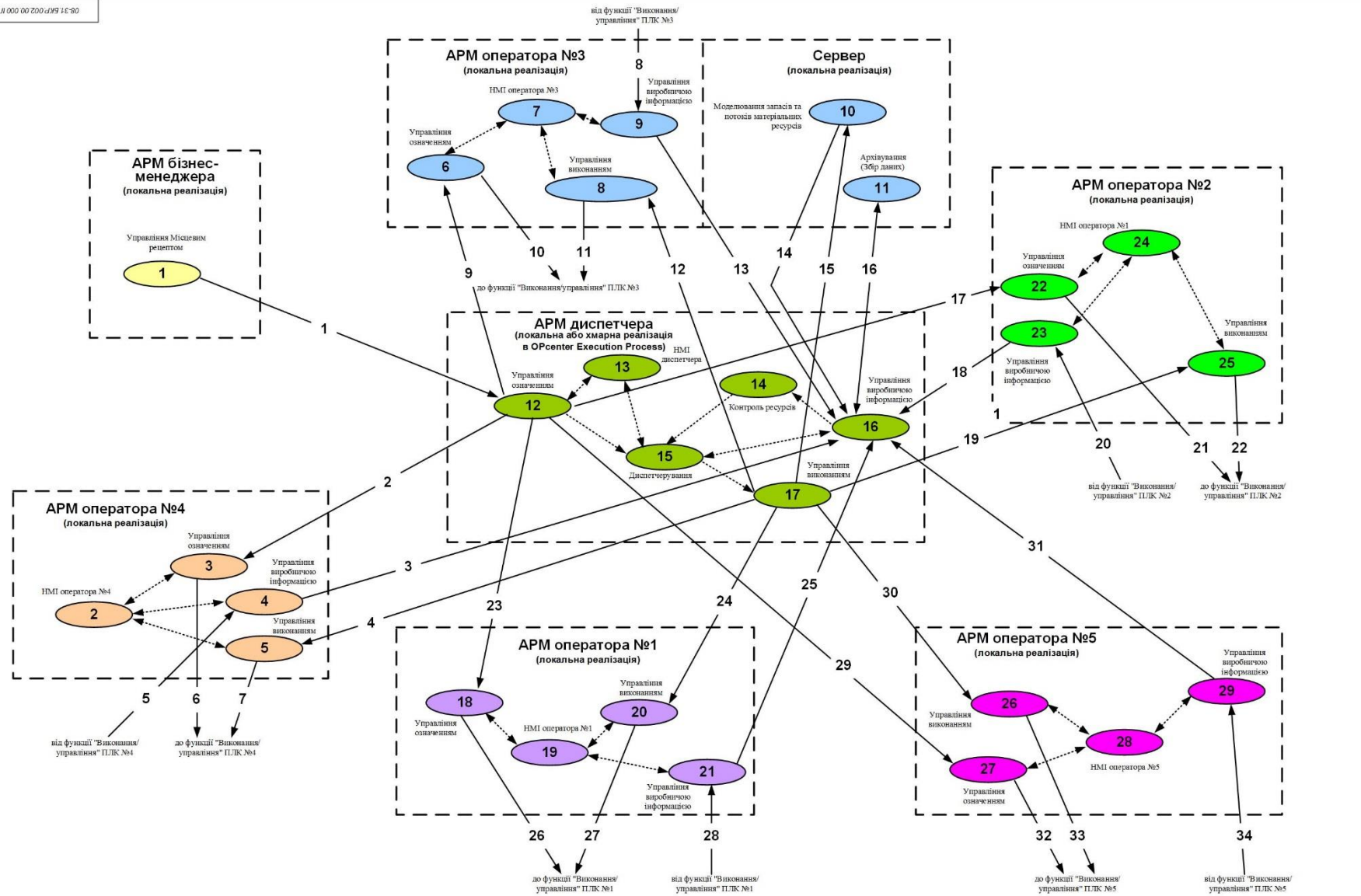
“ ” _____ 2025 р.

АРХІТЕКТУРНА МОДЕЛЬ АКТИВІВ НАВЧАЛЬНОГО ЗАСОБУ





					08-31.БКР.002.00.000 СФС								
					Лабораторна ІСА для рецептурного управління виробництвом. Схема функціональної структури								
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Бойко П. О.											
Перев.		Мізерний В.М.											
Т.контр.		Мізерний В.М.								Арк.	Аркуші 1		
Реценз.										ВНТУ, АКІТ-216з			
Н.контр.		Овчинников К.В.											
Затверд.		Бісикало О.В.											



Додаток В
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Навчальний засіб для практичного курсу дисципліни «Проектування систем автоматизації»

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота (у формі проекту)
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій ФІТА ВНТУ

(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 6,22 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

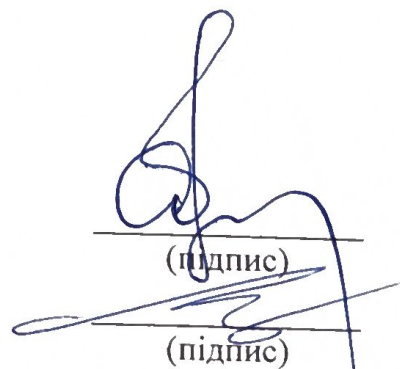
☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

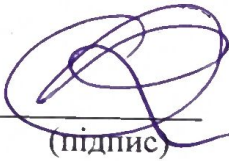
☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

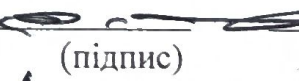
Олег БІСІКАЛО, зав. кафедри АІТ
(прізвище, ініціали, посада)

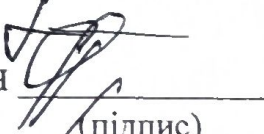
Любов ЯНЧУК, секретар кафедри АІТ
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)
(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку  Костянтин ОВЧИННИКОВ
(підпис) (прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник  Віктор МІЗЕРНИЙ, проф. кафедри АІТ
(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Здобувач  Павло БОЙКО
(підпис) (прізвище, ініціали)