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

УДК 378 + 681.324

В.М. ПАПІНОВ¹

ЛАБОРАТОРНА ІМІТАЦІЯ «НАВЧАЛЬНОЇ ФАБРИКИ»: ГІБРИДНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ

¹ *Вінницький національний технічний університет
21021, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна*

¹ *Тел.: +38(067)7813273, E-mail: vnpapinov@gmail.com*

Анотація. У статті розглядається спосіб гібридного моделювання матеріальних потоків періодичного виробництва з залученням програмно-технічних засобів навчальної комп'ютеризованої лабораторії з метою організації лабораторного практикуму студентів спеціальності 151- "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" у вигляді лабораторної імітації «навчальної фабрики».

Ключові слова: комп'ютеризована лабораторія, гібридне моделювання, матеріальний потік, періодичне виробництво, навчальна фабрика, система управління виробництвом

Аннотация. В статье рассматривается способ гибридного моделирования материальных потоков периодического производства с использованием программно-технических средств учебной компьютеризированной лаборатории с целью организации лабораторного практикума студентов специальности 151-"Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии" в виде лабораторной имитации «учебной фабрики».

Ключевые слова: компьютеризированная лаборатория, гибридное моделирование, материальный поток, периодическое производство, учебная фабрика, система управления производством

Abstract. In article is considering the method of hybrid modeling of batching material streams with the help of educational computerized lab soft and hardware in aim to organize the student's practice learning of 151- "Automation and computer-integration technologies" specialty as "learning factory" lab imitation.

Keywords: computerized lab, hybrid modeling, material stream, batching, learning factory, manufactory execution system (MES)

DOI: 10.31649/1681-7893-2020-40-2-65-81

ВСТУП

У наш час методологічною основою професійної освіти за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» визнаний компетентносний підхід, відповідно до якого результатом освітнього процесу є соціально-професійна компетентність випускника технічного вузу [1,2]. Компетентність – це інтегративна індивідуально-професійна якість, що представляє собою єдність теоретичної й практичної готовності до професійної діяльності й, внаслідок цього, не зводиться лише до знань і вмінь. Тому останні 10 років сучасна інформатизація світового освітнього процесу спрямовується саме на створення більш ефективного інформаційно-освітнього середовища, яке надало б більших можливостей для фахової підготовки студентів спеціальності та набуття ними досвіту та навичок практичної професійної. Так у світовому освітньому процесі протягом всього цього періоду часу спостерігається стала тенденція заміни традиційних систем комп'ютерної підтримки навчання на нові її форми, такі як «навчальна фабрика» та «віртуальне підприємство» [3-11]. Низка вітчизняних технічних вузів за підтримки відомих виробників систем автоматизації та системних інтеграторів також реалізують подібний сучасний підхід до підготовки фахівців спеціальності [12]. Зокрема у Вінницькому національному технічному університеті створена та постійно вдосконалюється така форма проведення

практикумів з професійно-орієнтованих та спеціальних дисциплін як лабораторна імітація «навчальної фабрики», тобто «віртуальне підприємство [13-15]. Це «віртуальне підприємство» функціонує на базі універсальної комп'ютеризованої лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» факультету комп'ютерних систем та автоматики, яка змонтована у 2015 році за підтримки компанії «СВ Альтера» (м.Київ), відомого вітчизняного системного інтегратора та дистриб'ютора засобів автоматизації [16].

В цій статті описаний наступний етап розвитку даного «віртуального підприємства».

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ВИЯВЛЕННЯ ПРОБЛЕМИ

Зазвичай одним із визначальних факторів навчального процесу, що сприяє виробленню та закріпленню у студентів стійких умінь та навичок, пов'язаних з їх професійною діяльністю, є лабораторний практикум [16], проблематика організації та проведення якого у системі вищої технічної освіти вже тривалий час активно обговорюється в науково-педагогічних колах [17-21].

Складність комп'ютерно-інтегрованих технологій (комп'ютерно-інтегрованих виробництв), їх постійний і швидкий розвиток ставлять перед вузами проблему пошуку та впровадження нових форм організації та навчальних методик проведення лабораторного практикуму, який би забезпечував високу якість професійно-практичної підготовки студентів у цій області автоматизації виробництва.

Як зазначалось вище, саме для вирішення проблеми підготовки нових кадрів для реалізації як сучасної концепції комп'ютерно-інтегрованого виробництва "СІМ" (Computer Integrated Manufacturing), так і перспективної концепції "Індустрія 4.0", провідні компанії в області промислової автоматизації, які планують розширяти області застосування своєї продукції та новітніх технологій, нещодавно стали створювати та активно використовувати тренувальні «навчальні фабрики» ("Learning Factory"), які максимально зближують наукові розробки компаній та їх новітнє навчальне обладнання з реальним виробництвом. Фактично ці «навчальні фабрики» являють собою «розумні» підприємства, побудовані за абсолютно новими принципами. Вони модульні, легко адаптуються до змін виробничого процесу, усі виробничі модулі спілкуються між собою по мережних протоколах, дані зберігаються в "хмарі", а до цього виробництва підключаються системи класу MES (Manufacturing Execution System) та ERP (Enterprise Resource Planning). Така насиченість «навчальних фабрик» новітніми зразками програмно-технічних комплексів та технологій автоматизації, необмеженість масштабів та призначень створених в них новітніх систем автоматизації, без сумніву, дозволяє віднести їх до «ідеального» типу організації лабораторного практикуму [16]. Такий практикум забезпечує поступове нарощування в процесі навчання складності практичних завдань та масштабів об'єктів вивчення, що сприяє формуванню у майбутніх фахівців, наприклад спеціальності 151, цілісних професійних знань та стійких практичних навичок в області автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій. На жаль, реалізація такого лабораторного практикуму на сьогодні є занадто дорогою справою, тому пройде ще багато часу, поки студенти українських вузів зможуть навчатися таким же чином.

З іншого боку, ідеї "навчальної фабрики" вже зараз можна сміливо впроваджувати у навчальний процес підготовки фахівців в області автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій. Наприклад, як було відмічено вище, в [13-15] описаний спосіб реалізації лабораторної імітації такої "навчальної фабрики" в багатофункціональній комп'ютеризованій лабораторії технічного вузу. Цей спосіб полягає в тому, що усі реальні промислові зразки програмно-технічних засобів лабораторії утворюють єдину комп'ютерно-інтегровану систему управління (КІСУ) конкретним виробництвом, але технологічні та технічні процеси такого виробництва замінені на їх моделі різної природи – фізичні, імітаційні, програмні чи гібридні. Студенти вивчають на практиці таке комп'ютерно-інтегроване виробництво протягом усього періоду навчання, починаючи з першого курсу, та на різних професійно-орієнтованих та спеціальних дисциплінах, що забезпечує їх наскрізну практичну підготовку, тобто складність навчальних завдань для студентів поступово зростає, а отримані результати виконання навчально-практичних завдань використовуються студентами як вихідні для виконання наступних, більш складних завдань.

МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Описаний в [13-15] спосіб побудови лабораторної імітації "навчальної фабрики" («віртуального підприємства») містить детальні і чіткі рекомендації щодо створення з програмно-технічних засобів лабораторії відповідної КІСУ періодичним виробництвом партії умовної хімічної продукції, але не пояснює, яким чином можна моделювати в умовах навчальної лабораторії деякі складові частини даного виробничого процесу, наприклад, матеріальні потоки.

Тому метою досліджень є розробка способу моделювання на основі як наявних в навчальній комп'ютеризованій лабораторії програмно-технічних засобів, так і нових їх зразків, такої складної частини виробничого процесу, якою є система переміщення матеріальних ресурсів виробництва між окремими

виробничими комірками (виробничими ділянками) «віртуального підприємства» або між виробничими комірками (виробничими ділянками) та виробничим складом. Така модель обов'язкової складової частини періодичного виробництва, яке керується КІСУ згідно з рекомендаціями міжнародних стандартів [22, 23], дозволить студентам спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" на базовому рівні ефективно набувати цілісних професійно-практичних знань основних комунікаційних та інтеграційних технологій комп'ютерно-інтегрованого виробництва, стійких умінь та навичок їх практичного використання при автоматизації виробництва, а також надасть можливість вищому навчальному закладу просто й дешево виконувати модернізацію чи адаптацію лабораторного практикуму до неодмінних подальших вдосконалень програмно-технічних засобів, комунікаційних та інтеграційних технологій автоматизації. Для досягнення поставленої мети дослідження треба розв'язати такі основні задачі:

- Для періодичного виробництва партій умовної хімічної продукції, яке імітується в лабораторії, провести аналіз та побудувати схему його матеріального забезпечення.
- Окреслити ту область схеми матеріального забезпечення, яка потребує свого першочергового моделювання в рамках «віртуального підприємства» з метою підвищення ефективності технічної підтримки «віртуальним підприємством» практикумів основних професійно-орієнтованих та спеціальних дисциплін.
- На основі програмно-технічних засобів лабораторії, а при необхідності, і з застосуванням нових програмно-технічних засобів, запропонувати спосіб моделювання матеріальних потоків для вибраної області схеми матеріального забезпечення періодичного віртуального виробництва.
- В рамках КІСУ періодичним виробництвом «віртуального підприємства» обґрунтувати архітектурне рішення її програмного забезпечення для реалізації моделі (моделей) вибраних матеріальних потоків «віртуального підприємства».
- На рівні концепції та ескізного проекту запропонувати для моделі (моделей) вибраних матеріальних потоків їх технічні рішення – схемні та конструкційні.

АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Будь-який виробничий процес - це сукупність всіх дій людей і знарядь праці, необхідних на даному підприємстві для виготовлення продукції. Зазвичай виробничий процес складається з наступних складових процесів [24]:

- основні (технологічні процеси, у ході яких відбуваються зміни геометричних форм, розмірів і фізико-хімічних властивостей продукції);
- допоміжні (процеси, які забезпечують безперерйне протікання основних процесів, наприклад, виготовлення й ремонт інструментів і оснащення; ремонт устаткування; забезпечення всіма видами енергій – електроенергією, теплом, парою, водою, стисненим повітрям і т.д.);
- обслуговуючі (процеси, пов'язані з обслуговуванням як основних, так і допоміжних процесів; вони не створюють продукцію, наприклад, це зберігання, транспортування, технічний контроль і т.д.);
- інформаційні (процеси, що пов'язані з інформаційним забезпеченням виробничого процесу – облік витрати матеріалів, енергії, матеріальних засобів, готової продукції, інформація про хід протікання процесу, зношування, ремонту й заміни встаткування, облік ринкової кон'юнктури, необхідної робочої сили й т.д.).

Враховуючи ці описи процесів, можна означити такі процеси і для нашого «віртуального підприємства» [15] (рис. 1):

- основний технологічний процес, що складається з трьох фаз (фаза 1 – хімічний реактор, фаза 2 – накопичувач/дозатор, фаза 3 – роботизована пакувальна лінія);
- допоміжний технологічний процес (дві автоматизовані виробничі лінії з виготовлення комплектів пустої тари);
- обслуговуючий технічний процес (цеховий склад для збереження усіх матеріальних ресурсів, напівфабрикатів та продукції виробництва).

Тепер проаналізуємо наш віртуальний виробничий процес з точки зору його автоматизації. Відомо, що за автоматизоване управління виробничим процесом відповідає система класу АСУВ (Автоматизована Система Управління Виробництвом або MES/MOM, тобто Manufacturing Execution System/Manufacturing Operations Management), яка є складовою частиною КІСУ підприємством [25].

Американський стандарт ANSI/ISA-95 та аналогічні йому міжнародний аналог IEC-62264 (МЕК-62264), який по суті являється адаптацією ISA, є зараз найбільш важливими стандартами, в яких систематизовані кращі практики розробки КІСУ [25]. В першій частині стандарту ISA-95 описана

функціональна структура інтегрованого виробництва довільного промислового підприємства. Реалізація першого та другого рівня управління, згідно наведеної в стандарті моделі управління, охоплюються автоматизованими системами управління технологічними процесами (АСУТП), на які даний стандарт не поширюється.

Тим не менше, в стандартній моделі управління визначено таке розділення між типами виробничих процесів з точки зору їх автоматизації:

- Batch Control (управління періодичним/порційним або малосерійним виробництвом);
- Continues Control (управління неперервним виробництвом);
- Discrete Control (управління дискретним виробництвом).

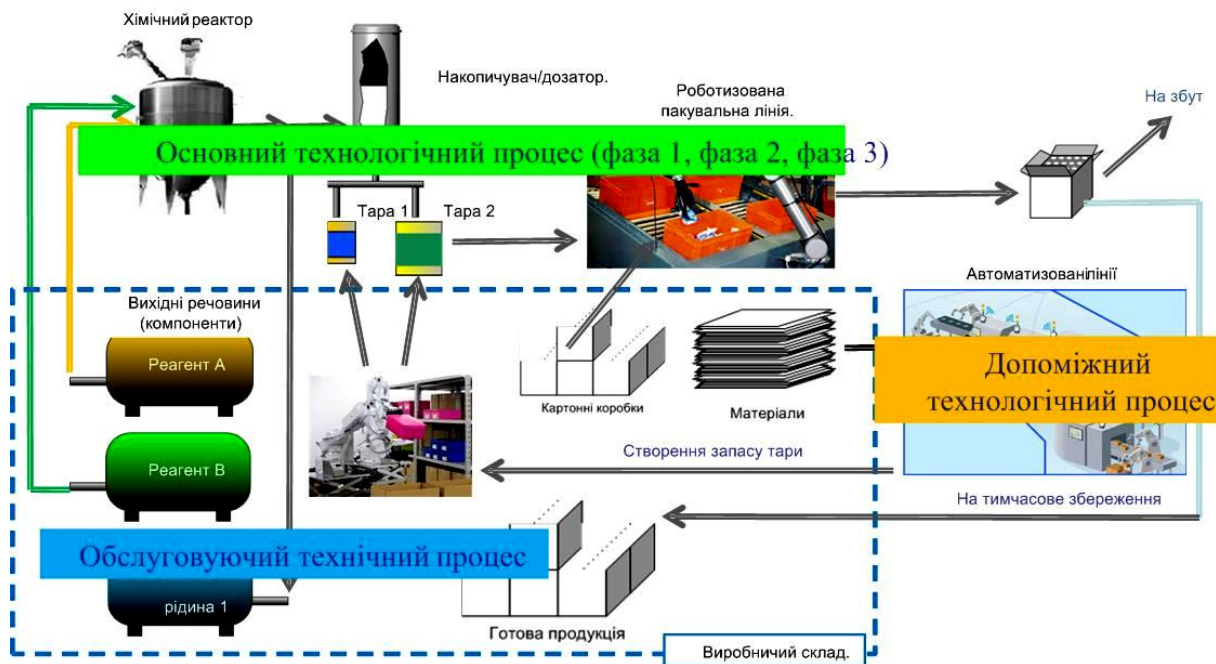


Рис.1. Складові процеси виробництва хімічної продукції

Це розділення зумовлене певними особливостями виробництва, що, як відомо, накладає свій відбиток на особливості управління його виробничими процесами. Для інтегрування систем різних рівнів у загальну систему управління виробництвом класу АСУВ (MES/MOM) вони повинні бути попередньо підготовленими. По-перше, управління виробничим підприємством вимагає представлення ресурсів і діяльності цих рівнів у вигляді моделей, які відрізняються для різних типів виробництв. По-друге, алгоритми управління другого рівня повинні враховувати необхідність реалізації двохсторонньої інтеграції за принципом: вниз – планування, вгору – фактичний стан. Для цього в управлінні періодичним виробництвом (Batch Control) вже довгий час використовується стандарт ISA-88 [22, 23]. У певній мірі адаптація цього стандарту зроблена також і для дискретних виробництв. Для неперервних виробництв теж існують адаптації стандартів сімейства ISA-88. Загалом у стандартах ISA-88 закладені такі правила побудови систем управління технологічними процесами, які передбачають їх інтеграцію в єдину КІСУ, побудовану згідно стандарту ISA-95.

Якщо врахувати, що періодичні виробничі процеси (Batch processes) спрямовані на випуск кінцевих кількостей продукції (партій/порцій) за допомогою обмеженої кількості універсального технологічного обладнання, то можна з упевненістю стверджувати, що виробничий процес нашого «віртуального підприємства» є саме періодичним. Продукт, що ми уявно отримуємо шляхом такого періодичного процесу, називається партією/ порцією (batch). Періодичні процеси є перервними. Періодичні процеси не є ні дискретними, ні неперервними, однак, вони мають характеристики їх обох.

Розглянемо суть виробничого процесу «віртуального підприємства» з точки зору його «забезпечення» різними матеріальними ресурсами. Випуск «готової хімічної продукції (рідини)» відбувається партіями за планом, сформованим заводоуправлінням. Тому для «виготовлення» різних за обсягом партій «хімічної продукції» обмеженої номенклатури в системі управління треба використовувати певну кількість рецептів. Тоді, згідно з встановленим планом випуску продукції, до системи управління

хімічним реактором класу АСУТП (SCADA) надходить один з рецептів, який задає усі необхідні інструкції щодо «виконання» хімічним реактором (лабораторна фізична модель) відповідного циклічного технологічного процесу. Для того, щоб хімічний реактор (лабораторна фізична модель) «виробив» порцію «хімічної рідини» за одним з рецептів, у виробничому складі (гібридна модель, описана в [15]) «створюється» потрібний запас різних вихідних реагентів, що «зберігаються» у відповідних резервуарах (реагент А, реагент В, ...). Необхідна для поточного циклу «роботи» хімічного реактора кількість цих реагентів у вигляді кількох матеріальних потоків (може бути два, три і більше, залежить від рецепту) «завантажується» всередину хімічного реактора (лабораторна фізична модель). Виконується цикл «роботи» реактора, після чого на його виході «з'являється» матеріальний потік «готової хімічної продукції (рідини)». Частина цього матеріального потоку можна «перемістити» до виробничого складу (гібридна модель) для тимчасового «збереження». Враховуючи можливість «виготовлення» різних «хімічних рідин», на складі треба передбачити і відповідну кількість резервуарів для «готової продукції». Другу частину «готової хімічної рідини» з хімічного реактора можна «перемістити» на наступну виробничу ділянку №2 (фаза 2 основного ТП) для її «розливу» у відповідну тару, вказану в поточному рецепті.

Для «роботи» накопичувача/дозатора (лабораторна фізична модель) до його системи управління класу АСУТП (SCADA) також надсилається один з рецептів, який описує усі інструкції щодо розливу «готової хімічної рідини» (наприклад, тип тари, в яку буде розливатися рідина, розмір партії для кожного типу тари і т.п.). Для «здійснення» цього технологічного процесу також «організується» вхідний матеріальний потік – подача пустої тари, визначеної одним з рецептів, з виробничого складу (гібридна модель), де «створений» відповідний її запас (різні «хімічні рідини» можуть «розливатися» у тару різного об'єму та форми).

На виході даної виробничої ділянки «формується» матеріальний потік «готової хімічної рідини», яка «розлита у відповідну тару», згідно до одного з рецептів. Цей матеріальний потік «спрямовується», наприклад, за допомогою стрічкового конвеєра на вхід наступної виробничої ділянки. Для «роботи» цієї ділянки (фаза 3 основного ТП) до її системи управління класу АСУТП (SCADA) також надходить один з рецептів, який визначає тип тари, в яку «розлита хімічна рідина», а також потрібні для «пакування» типи картонних коробок. Для «виконання» технологічного процесу пакування «організовані» також додаткові вхідні матеріальні потоки – «подача» пустих картонних коробок того типу або типів, які вказані в рецепті, з виробничого складу (одним чи кількома конвеєрами). Тому на виробничому складі (гібридна модель) «створюється» відповідний запас пустих картонних коробок різного розміру для усіх можливих рецептів пакування.

На виході даної виробничої ділянки «формується» наступний матеріальний потік «готової продукції», що являє собою одну чи дві нитки конвеєрів (за поточним рецептом може виготовлятися продукція або одного, або двох типів пакування). Цей вихідний матеріальний потік можна «спрямувати» або на загальний склад для здійснення запланованих операцій збуту готової продукції, або на виробничий склад (гібридна модель) для тимчасового «зберігання». Тому на виробничому складі (гібридна модель) повинно бути передбачено місце для зберігання усіх можливих видів готової хімічної продукції та типів її пакування.

На допоміжній виробничій ділянці на основі двох автоматизованих виробничих ліній (електромеханічні імітаційні моделі) організовано «виготовлення» комплектів тари для «готової хімічної продукції». Автоматизовані лінії (лабораторні імітаційні моделі) також отримують різні рецепти від системи управління верхнього рівня, «виробляючи» згідно з ними комплекти тари різного типу. Номенклатура цієї тари може бути досить великою. Тому для забезпечення даного технологічного процесу вихідними матеріалами (напівфабрикатами) на виробничому складі (гібридна модель) створюється необхідний їх запас. «Вихідна продукція» даної виробничої ділянки у вигляді окремого матеріального потоку (наприклад, конвеєра) «переміщується» на виробничий склад (гібридна модель) для «створення» там потрібних запасів пустої тари різних типів (для різних рецептів виготовлення «готової хімічної продукції»).

Так можна описати періодичний виробничий процес «віртуального підприємства» з точки зору необхідності «переміщення» його матеріальних ресурсів. З наведеного опису стає зрозумілим, що усі матеріальні потоки виробництва можна поділити на дві частини: матеріальні потоки рідких матеріальних ресурсів (різні «реагенти» для хімічного реактора, рідка «готова хімічна продукція» двох видів) та матеріальні потоки твердих матеріальних ресурсів («пуста тара», «наповнена тара», «матеріали для виготовлення тари», «пусті картонні коробки» для «пакування наповненої тари», «заповнені картонні коробки» - готова продукція).

Враховуючи те, що наше «віртуальне підприємство» призначене для «виготовлення» партії саме рідкої «хімічної продукції», будемо вважати, що матеріальні потоки рідких матеріальних ресурсів, що

мають безпосереднє відношення до основного призначення «віртуального підприємства», більш важливими, ніж потоки твердих матеріальних ресурсів, які пов'язані з допоміжними процесами фасування та пакування рідкої «готової хімічної продукції». Тому в першу чергу треба моделювати на нашому «віртуальному підприємстві» саме потоки та запаси рідких матеріальних ресурсів, а вже в подальшому дослідити можливість моделювання потоків та запасів його твердих матеріальних ресурсів.

На концептуальному рівні було прийнято рішення робити такі моделі гібридними, тобто такими, що складаються з кількох моделей різної природи. По-перше, усі кількісні значення потоків та запасів, а також їх зміни у часі, повинні моделюватися програмним шляхом. По-друге, відображення результатів програмного моделювання повинно виконуватися не тільки через графічний людино-машинний інтерфейс КІСУ, але і додатково за допомогою електричних імітаційних моделей, змонтованих в приміщенні лабораторії у вигляді трубопроводів та резервуарів з рідинами для посилення ступеню реалістичності виробництва «віртуального підприємства». На рис. 2 показано концептуальне рішення таких імітаційних моделей.

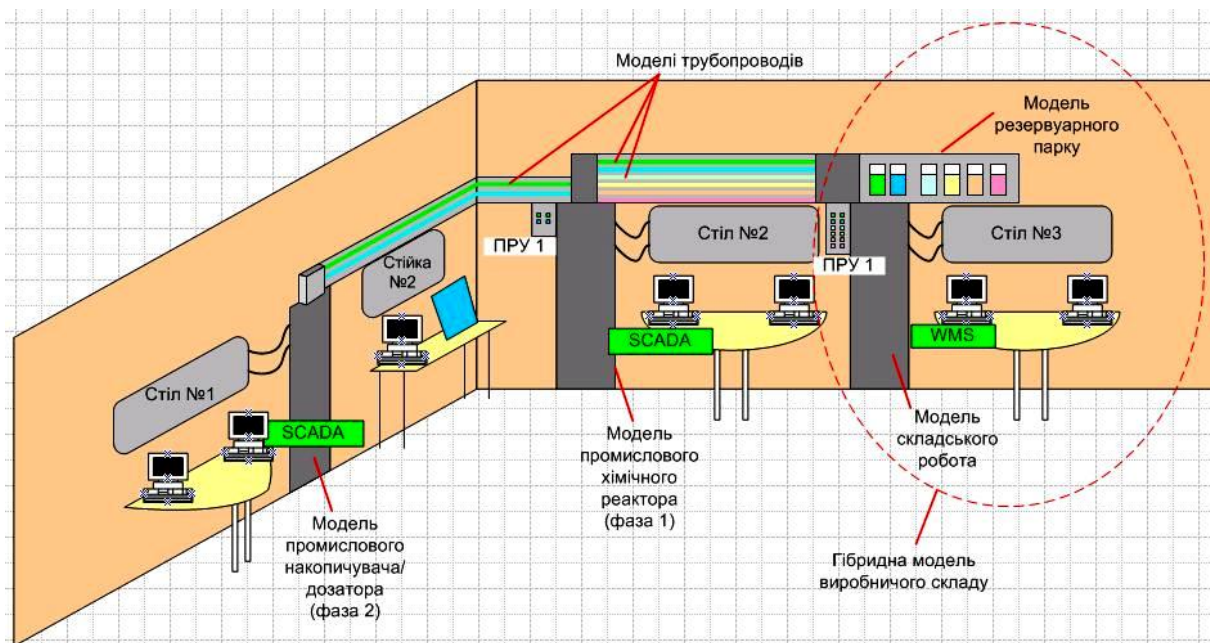


Рис. 2. Варіант розміщення нових імітаційних моделей в лабораторії

На рисунку показані такі електричні імітаційні моделі потоків та запасів рідких матеріальних ресурсів:

- моделі трубопроводів, по яких перекачуються рідкі матеріальні ресурси даного виробництва – готова хімічна продукція та реагенти для її виготовлення;
- модель резервуарного парку, в якому зберігаються запаси готової хімічної продукції та реагенти для її виготовлення; ця модель буде включена до складу вже існуючої гібридної моделі виробничого складу;
- пульти ручного управління моделями трубопроводів («ПРУ 1» - для управління моделлю трубопроводів між фазами 1 та 1 основного ТП), «ПРУ 2» - для управління моделлю трубопроводів між резервуарним парком виробничого складу та фазою 1 основного ТП).

Модель резервуарного парку та кількість трубопроводів, що моделюються, визначаються вже існуючою гібридною моделлю виробничого складу [15]. В цій моделі передбачено використання шести баків, чотири з яких призначені для збереження реагентів (А, В, С, D), а два – для двох видів продукції.

Як було зазначено вище, робота вказаних імітаційних моделей пов'язана з результатами роботи відповідних програмних моделей (наприклад, програмних моделей потоків рідин по трубопроводах, або програмних моделей запасів рідин в резервуарному парку). Перед тим, як створювати ці програмні моделі, треба означити усі об'єкти програмного моделювання «віртуального підприємства». Це можна зробити, побудувавши його схему матеріального забезпечення рідкими ресурсами (рис.3).

На схемі позначені усі потрібні для періодичного виробництва запаси рідких матеріальних ресурсів та напрями їх переміщення по трубопроводах. Як видно з рисунку, на виробництві треба створити такі запаси рідких матеріальних ресурсів:

- WH_A, WH_B, WH_C, WH_D – запаси вихідних реагентів А, В, С і D у резервуарному парку виробничого складу (для роботи фази 1 основного ТП);
- WH_PR1, WH_PR2 – запаси готової продукції першого та другого видів у резервуарному парку виробничого складу (для роботи фази 2 основного ТП);
- PH1_A, PH1_B, PH1_C, PH1_D – локальні запаси вихідних реагентів на виробничій ділянці фази 1 основного ТП (для виконання поточного Майстер рецепту);
- PH1_PR1, PH1_PR2 – локальні запаси готової продукції першого та другого видів на виробничій ділянці фази 1 основного ТП (після вивантаження її з хімічного реактора, що виконав поточний Керівний рецепт);
- PH2_PR1, PH2_PR2 – локальні запаси готової продукції першого та другого видів на виробничій ділянці фази 2 основного ТП (в накопичувачі перед їх дозуванням у тару).

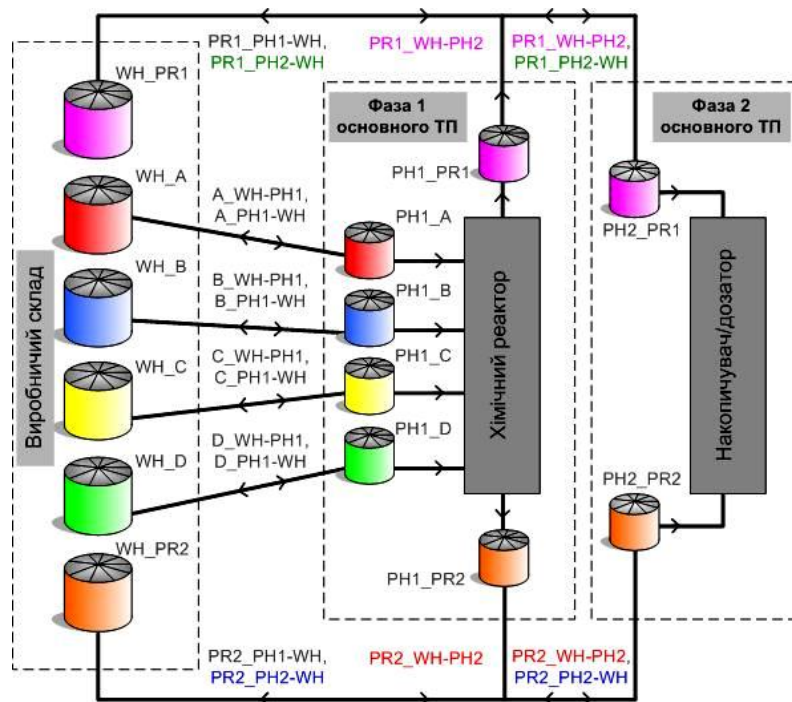


Рис.3. Схема матеріального забезпечення періодичного виробництва рідкими ресурсами

Для переміщення вказаних рідких матеріальних ресурсів між технологічними та технічними процесами виробництва треба організувати такі матеріальні потоки у трубопроводах:

- PR1_PH1-WH, PR1_PH2-WH – потоки готової продукції першого виду від фази 1 та фази 2 основного ТП до резервуарного парку виробничого складу;
- PR2_PH1-WH, PR2_PH2-WH – потоки готової продукції другого виду від фази 1 та фази 2 основного ТП до резервуарного парку виробничого складу;
- PR1_WH-PH2, PR2_WH-PH2 – потоки готової продукції першого та другого видів з резервуарного парку виробничого складу до фази 2 основного ТП для створення або поповнення їх локальних запасів;
- A_WH-PH1, A_PH1-WH – потоки вихідного реагенту А з резервуарного парку виробничого складу до локального запасу цього реагенту на виробничій ділянці фази 1 основного ТП та у зворотному напрямі;
- B_WH-PH1, B_PH1-WH – потоки вихідного реагенту В з резервуарного парку виробничого складу до локального запасу цього реагенту на виробничій ділянці фази 1 основного ТП та у зворотному напрямі;

- C_WH-PH1, C_PH1-WH – потоки вихідного реагенту C з резервуарного парку виробничого складу до локального запасу цього реагенту на виробничій ділянці фази 1 основного ТП та у зворотному напрямі;
- D_WH-PH1, D_PH1-WH – потоки вихідного реагенту D з резервуарного парку виробничого складу до локального запасу цього реагенту на виробничій ділянці фази 1 основного ТП та у зворотному напрямі;
- PH1_A, PH1_B, PH1_C, PH1_D – локальні матеріальні потоки вихідних реагентів в межах виробничої ділянки фази 1 основного ТП (завантаження хімічного реактора з локальних запасів реагентів).

Як було зазначено вище в гібридній моделі усі перелічені вище матеріальні запаси та потоки моделюються програмним шляхом у спеціальному сервері виробничих даних КІСУ періодичним виробництвом. Тоді взаємодія основних функцій управління рівня MES/MOM, передбачених стандартами [23, 24], в лабораторній КІСУ періодичним виробництвом повинна бути такою, як показано на схемі функціональної структури (рис.4).

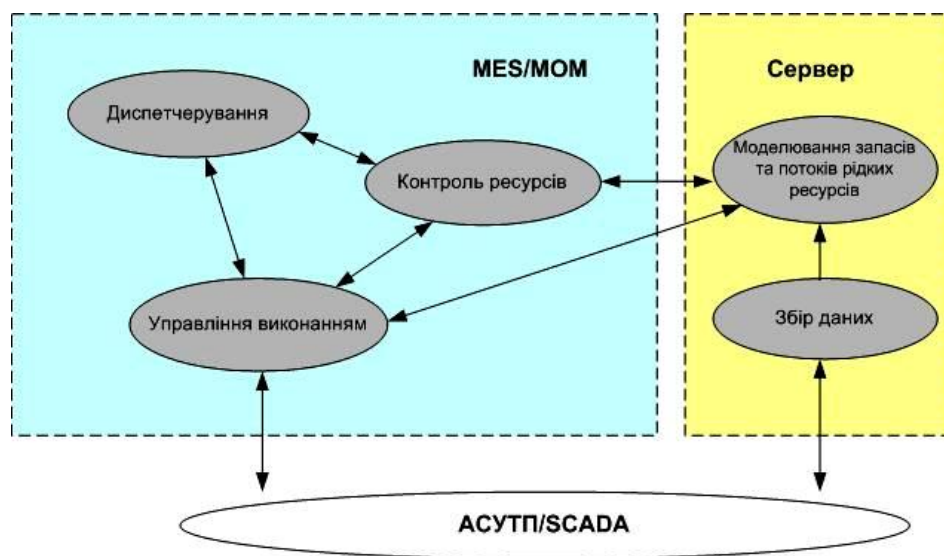


Рис.4. Схема функціональної структури лабораторної КІСУ

На рисунку показано, що функція «Управління виконанням» в лабораторній КІСУ повинна взаємодіяти не тільки з функціями нижчого рівня («АСУТП/SCADA»), але і з функцією «Моделювання запасів та потоків рідких ресурсів» серверу виробничих даних («Сервер»). Наприклад, якщо функція «Диспетчерування» сформує наказ на поповнення якогось запасу рідкого ресурсу, то виконуючи цей наказ, функція «Управління виробництвом» запускає на сервері відповідну програмну модель розрахунку зміни у часі як запасу даного ресурсу, так і відповідного потоку.

Запуск вказаних програмних моделей відстежує функція «Контроль ресурсів», яка надає відповідну інформацію функції «Диспетчерування», а також функції «Управління виконанням». Функція «Управління виконанням» надає відповідні накази нижчій функції «АСУТП/SCADA» для запуску до дії електричних імітаційних моделей рідкого матеріального запасу або його потоку. Деякі результати роботи цих електричних імітаційних моделей можуть контролюватися функцією «Збір даних», яка надає відповідну інформацію функції «Моделювання запасів та потоків рідких ресурсів», наприклад, зупиняючи роботу програмної моделі у разі виходу з ладу відповідної електричної імітаційної моделі.

Функція «Управління виконанням» повинна також передавати поточні результати програмного моделювання запасу рідкого матеріального ресурсу чи його потоку до нижчої функції «АСУТП/SCADA», яка використовує їх для здійснення управління технологічними процесами в рамках отриманих рецептів.

Після закінчення роботи програмних моделей відповідна інформація надходить і до функції «Диспетчерування», наприклад звіт про виконання її наказу (через функцію «Збір даних»), і до функції «Управління виконанням», яка, у свою чергу, дає команду на нижчу функцію «АСУТП/SCADA» на зупинку роботи відповідних електричних імітаційних моделей запасу чи потоку рідкого матеріального ресурсу.

Розглянемо тепер питання програмної реалізації описаної схеми функціональної структури з залученням тих програмних засобів, які є в лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка». Для цього розробимо архітектуру відповідного програмного забезпечення.

Моделювання потоків та запасів рідких матеріальних ресурсів виробництва «віртуального підприємства» в лабораторній КІСУ виконується на вузлі «Сервер» за рахунок використання в ньому тегів "Advanced Tags" (АТ) комунікаційного серверу KEPServerEX [26]. Такі теги мають вбудовані логічні та математичні функції, які визначають тип тегу.

Комунікаційний сервер KEPServerEX підтримує такі типи АТ:

- "Average Tag": розраховує середнє значення тегу за визначений період часу;
- "Complex Tag": групує багато тегів з різними типами даних у єдину комплексну сутність або структуру;
- "Link Tag": зв'язує дані, отримані за різними протоколами;
- "Maximum Tag": читає та зберігає на визначений час максимальне значення тегу;
- "Minimum Tag": читає та зберігає на визначений час мінімальне значення тегу;
- "Derived Tag": використовує головний сценарій та стандартні логічні та математичні функції для виконання обчислень над визначеними тегами; є можливість управляти частотою та умовами обрахунку функцій, а користувачі мають змогу вставляти більш складні функції у свої додатки.

На рис.5 показана архітектурне рішення програмного забезпечення (ПЗ) моделювання з застосуванням АТ запасів та потоків рідких матеріальних ресурсів виробництва хімічної продукції на «віртуальному підприємстві».

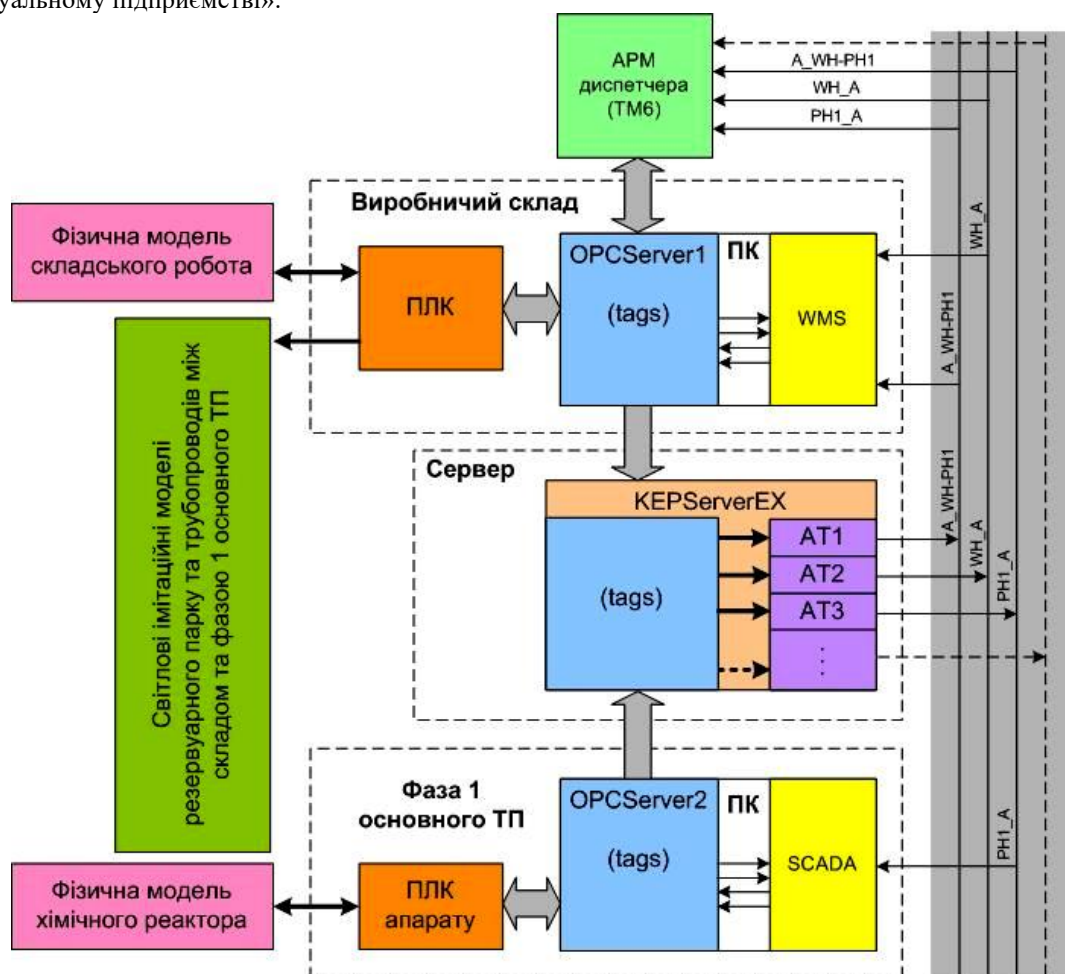


Рис.5. Архітектура ПЗ моделювання рідких матеріальних запасів та потоків виробництва

Старт процесу моделювання дає диспетчер виробництва через свій АРМ, наприклад, використовуючи його графічний ЛМІ. Цифрові дані у вигляді атрибутів матеріального потоку, який за наказом диспетчера треба здійснити на виробництві, записуються, наприклад, у відповідні значення тегів локального сервера «OPCServer1», що зв'язаний зі змінними програми ПЛК виробничого складу. Цей ПЛК здійснює управління як фізичною моделлю складського робота, так і світловими імітаційними моделями резервуарного парку виробничого складу та шістьох трубопроводів між цим складом та фазою 1 основного ТП. Таким чином, атрибути матеріального потоку слід записувати в той OPC сервер системи, який обслуговує ПЛК відповідної імітаційної моделі трубопроводу, де буде «протікати» матеріальний ресурс.

Записані в OPC сервер атрибути матеріального потоку (тип переміщуваного ресурсу, його кількість та маршрут переміщення, наприклад, де починається і де закінчується потік) повинні бути достатніми для виконання відповідного його математичного моделювання в комунікаційному сервері KEPServerEX. На цьому сервері, по-перше, створюються звичайні теги (tags) для прийому значень атрибутів потоку, по-друге, створюються теги типу "Advanced Tags" (AT1, AT2, AT3, ...) для виконання математичного моделювання як самого потоку, так і пов'язаних з ним запасів матеріального ресурсу (у місці, де потік починається, і у місці, де потік закінчується),

Атрибути матеріального потоку, який починається або закінчується на складі, повинен отримати і оператор складу через свій АРМ (WMS), яке читає ці дані зі значень тегів OPC сервера. Саме оператор складу дає дозвіл на здійснення відповідної складської операції, пов'язаної з даним матеріальним потоком. Наприклад, якщо ініціюється матеріальний потік реагенту А зі складу до фази 1 основного ТП, то оператор складу повинен або дати дозвіл на цю складську операцію, або відмінити її за певною причиною, наприклад, вихід з ладу насосу, який качає рідину по трубопроводу.

Якщо оператор складу дає дозвіл на здійснення матеріального потоку, то задане значення змінної дозволу записується у відповідний тег OPC сервера «OPCServer1», а потім зчитується відповідним тегом комунікаційного сервера KEPServerEX. Починається процес моделювання потоків та запасів конкретного матеріального ресурсу, наприклад, реагенту А. За допомогою математичних формул, вбудованих в три теги AT1-AT3, сервер розраховує зміну у часі рідкого потоку реагенту А у трубопроводі (змінна «A_WH-PH1» на виході AT1), зміну у часі запасу реагенту А на складі (змінна «A_WH» на виході AT2) та зміну у часі запасу реагенту А на виробничій ділянці з хімічним реактором (змінна «A_PH1» на виході AT3). Усі ці динамічно змінювані значення стають доступними через мережу для всіх OPC-клієнтів системи: АРМ диспетчера, АРМ оператора складу та АРМ оператора фази 1 основного ТП. Всі три значення читає АРМ диспетчера щоб контролювати процес переміщення матеріального ресурсу виробництва. Значення запасу реагенту А на виробничій ділянці з хімічним реактором читає АРМ оператора фази 1 основного ТП щоб відобразити цей запас на графічному ЛМІ оператора. Значення поточного запасу реагенту А на складі та значення поточної кількості переміщеного через трубопровід матеріального ресурсу читаються АРМ оператора виробничого складу. Обидва значення потрібні як для відображення відповідного технологічного параметру на графічному ЛМІ оператора, так і для управління роботою тієї чи іншої світлової імітаційної моделі (резервуарного парку, трубопроводів). Управління імітаційними моделями здійснюється за допомогою ПЛК, на який програма WMS-системи виводить через «OPCServer1» і локальну мережу усі цифрові дані, потрібні для здійснення світлового імітаційного моделювання рідкого потоку реагенту А через вибраний трубопровід.

Розглянемо тепер як можна імітувати рух рідкого потоку у трубопроводі електричними засобами. Очевидно, що найбільш ефектним та ефективним способом є застосування світлових лінійок, тобто наборів світлових елементів, наприклад, світлодіодів. Матеріальний рідкий потік у трубопроводі може бути змодельований такою світловою лінійкою наступним чином: якщо потік починається, то елементи світлової лінійки повинні поступово загорятися у напрямі, в якому перекачується рідкий потік (рис.6, а). Коли трубопровід буде заповнений рідиною, що прокачується, то усі елементи світлової лінійки повинні горіти (рис.6, б). При закінченні перекачування, коли рідкий матеріальний потік в трубопроводі поступово зникає, світлові елементи лінійки повинні також поступово гаснути у напрямі руху матеріального потоку (рис.6, в).

На рис.7 наведений варіант виконання електричної імітаційної моделі резервуарного парку виробничого складу, який є входом або виходом тих матеріальних потоків, які перекачуються по трубопроводах виробництва.

На горизонтальній металевій панелі, що розміщена над лабораторним столом №3, тим чи іншим способом нанесені зображення шести баків резервуарного парку, в яких в лабораторній імітації «навчальної фабрики» умовно зберігаються потрібні для виробництва хімічної продукції рідкі реагенти (А, В, С, D), а також два види готової продукції – «Продукція 1», «Продукція 2». Активний бак (той, з якого в даний момент викачується рідина, або той, до якого в даний момент заливається рідина)

відображаються на імітаційній моделі окремим елементом світлової сигналізації, наприклад, світлодіодом. Цей світлодіод може просто загорятися, а може додатково і миготіти. Одночасно з цим буде працювати і відповідна світлова імітаційна модель трубопроводу, по якому рідина або викачується з активного баку, або закачується до нього.

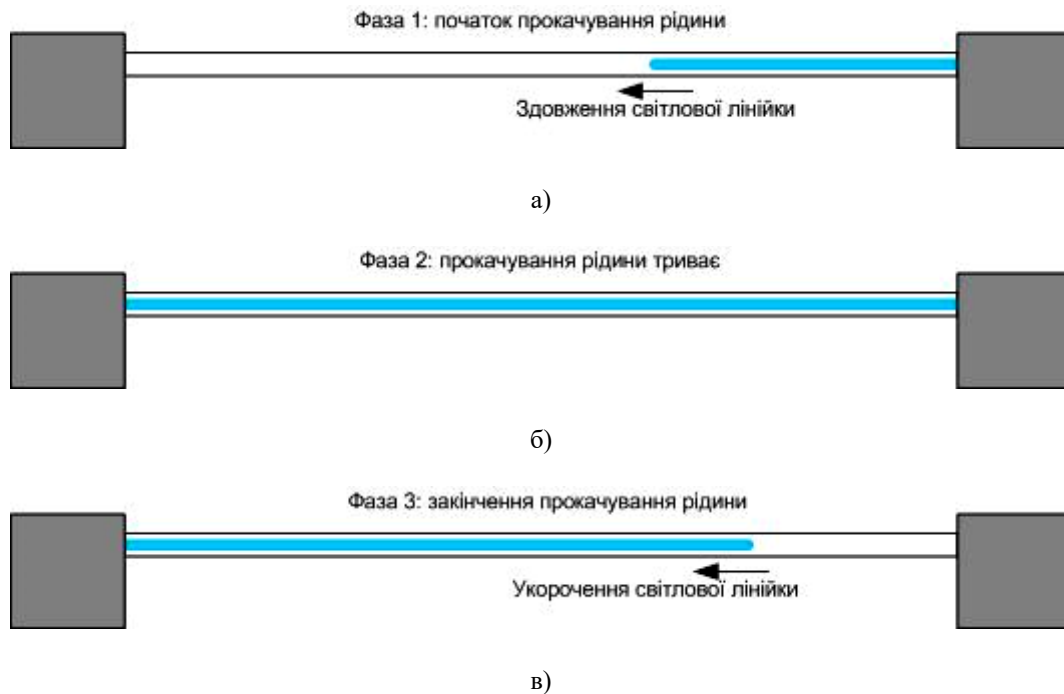


Рис.6. Принцип імітаційного моделювання рідкого потоку в трубопроводі за допомогою світлової лінійки: а – на початку прокачування рідини; б – в процесі тривалого прокачування рідини; в – при закінченні прокачування рідини

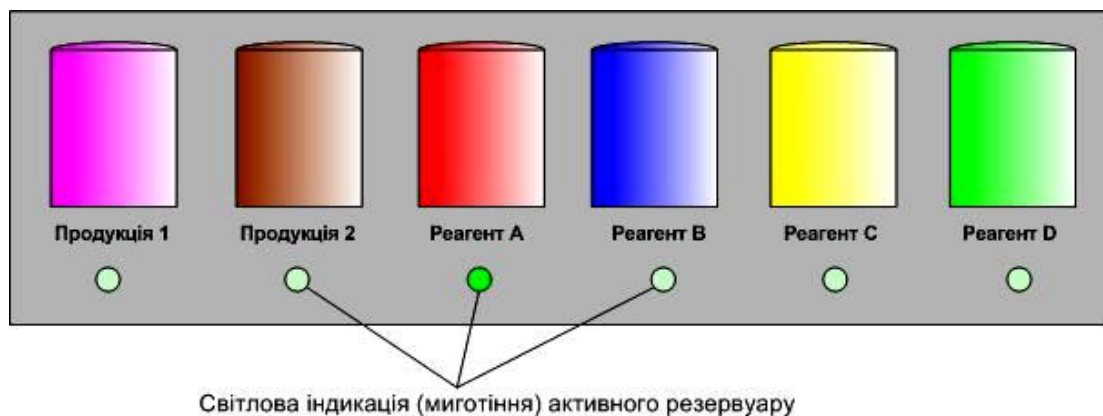


Рис.7. Принцип імітаційного моделювання резервуарного парку

Розглянемо схемне рішення головних складових частин таких електричних імітаційних моделей, а саме, світлових імітаційних моделей трубопроводів, по яких перекачується та чи інша рідина. Якщо такі моделі будувати на основі світлових лінійок, кожна з яких повинна містити до 30 світлових елементів, наприклад, світлодіодів (довжина лінійки 3 метри, відстань між світлодіодами 10 сантиметрів), то стає питання, як управляти включенням та виключенням цих світлодіодів щоб імітувати всі три фази рідкого потоку (див. рис.6).

На рис.8 показаний ескізний проект запропонованого конструктивного рішення електромеханічного 30-канального перемикача для відповідного вмикання/вимикання світлодіодів лінійки, який управляється сигналами з ПЛК. В цьому перемикачі використовується профільоване

електропровідне покриття циліндричного барабану. Пружні контакти, кожен з яких з'єднаний з окремим світлодіодом лінійки, закріплені в ряд на ізоляційній пластині і ковзають по поверхні циліндричного барабану. Мікродвигун через редуктор повільно обертає циліндричний барабан у тому чи іншому напрямі, що призводить до поступового загоряння та гасіння світлодіодів лінійки, тобто до світлової імітації руху рідкого потоку в трубопроводі або зліва направо, або справа наліво. Електропровідне покриття циліндричного барабану з'єднано з земляною шиною через окремий контакт, що ковзає.

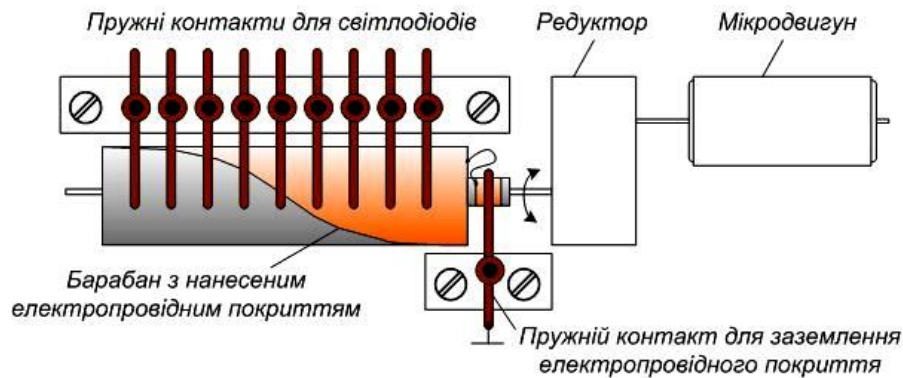


Рис.8. Конструктивне рішення електромеханічного 30-канального перемикача

На рис.9 показана ескізний проект електричної функціональної схеми всієї імітаційної моделі потоків рідких матеріальних ресурсів «віртуального підприємства».

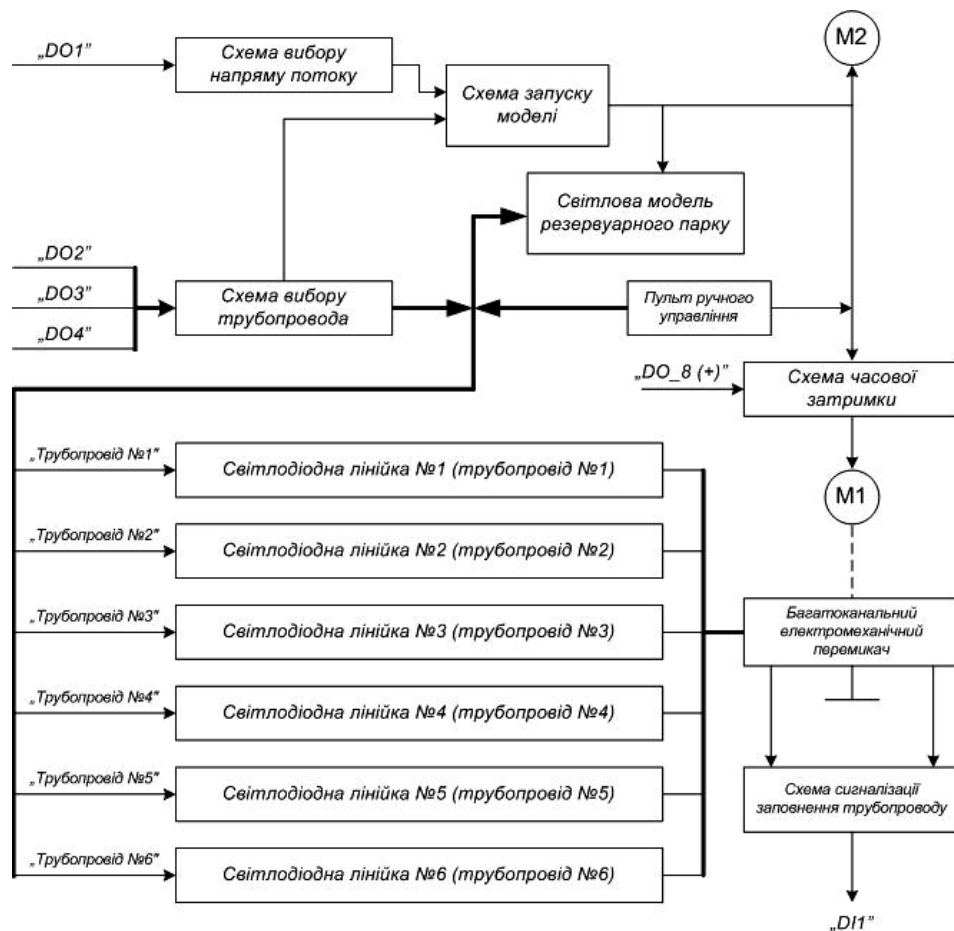


Рис.9. Електрична функціональна схема імітаційної моделі рідких матеріальних ресурсів «віртуального підприємства» (між складом та фазою 1 основного ТП) та резервуарного парку складу

Як видно з рисунку, управління роботою електричної імітаційної моделі здійснюється від ПЛК за допомогою чотирьох дискретних вихідних сигналів (“DO1”-“DO4”) та одного дискретного вхідного сигналу (“DI1”). На принциповому рівні ця схема реалізується електромеханічним шляхом (малопотужні електромагнітні реле, багатоканальний електромеханічний перемикач). Це значно здешевлює схемне рішення, а також виготовлення та монтаж моделі.

Розглянемо тепер концепцію конструктивного рішення електричних імітаційних моделей потоків рідких матеріальних ресурсів «віртуального підприємства». На рис.10 показаний фотомонтаж цього концептуального рішення для моделей матеріальних потоків між складом та фазою 1 основного ТП з прив'язкою до вже встановленого в лабораторії обладнання.

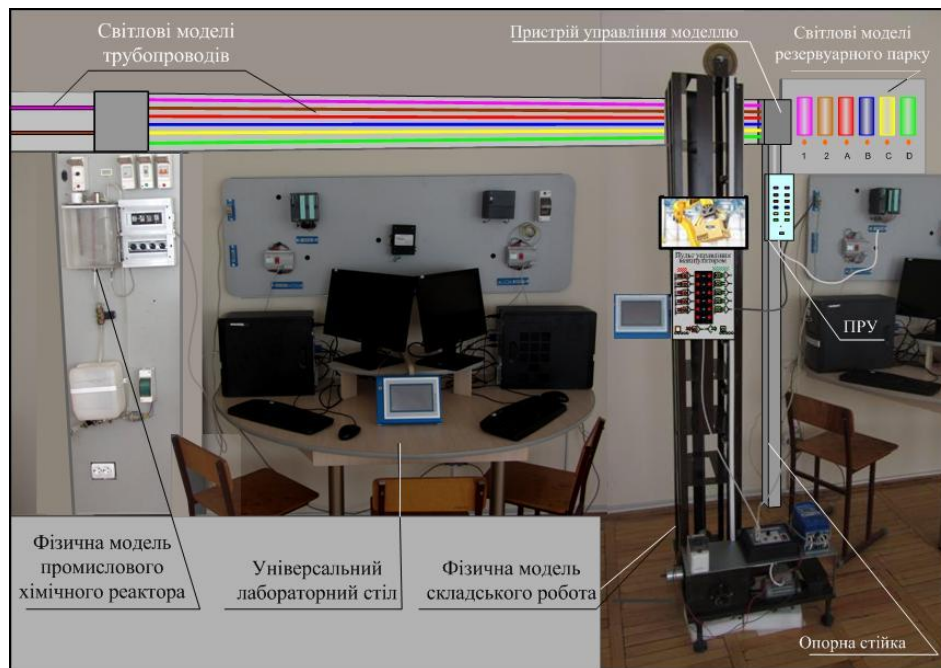


Рис.10. Концептуальне технічне рішення електричної імітаційної моделі рідких матеріальних потоків між складом і фазою 1 основного ТП

Як видно з рисунку, горизонтальна металева панель, на якій монтується світлова імітаційна модель шести трубопроводів, зліва опирається на конструкцію фізичної моделі промислового хімічного реактора, а справа – на вертикальну опорну стійку, яка кріпиться до стіни. Світлова імітаційна модель резервуарного парку розміщується над настінною панеллю лабораторного столу №3, опираючись на неї, а з лівого боку кріпиться до вертикальної опорної стійки. Обидві світлові імітаційні моделі розділені металічним боксом, всередині якого змонтований пристрій управління електричною імітаційною моделлю шести рідких матеріальних потоків та резервуарного парку.

Нижче до вертикальної опорної стійки кріпиться пульт ручного управління (ПРУ) електричною імітаційною моделлю шести рідких матеріальних потоків та резервуарного парку. На лицьовій панелі пульта встановлені 12 кнопочних вмикачів, за допомогою яких можна включити електричні імітаційні моделі окремих трубопроводів та баків резервуарного парку для двох режимів їх роботи: перекачування рідини з резервуарного парку до хімічного реактора та перекачування рідини з хімічного реактора до резервуарного парку.

Підводячи підсумок проведених досліджень, надамо короткі навчально-методичні рекомендації щодо організації практикуму в навчальній комп'ютеризованій лабораторії з описаною гібридною моделлю рідких матеріальних потоків періодичного виробництва. Враховуючи широкий спектр тематики навчально-практичних завдань, що може забезпечити така лабораторія, є доцільним організувати практичне вивчення студентами КІСУ цим виробництвом на протязі кількох курсів і в рамках групи взаємопов'язаних професійно-орієнтованих та спеціальних дисциплін. Такий підхід забезпечить наскрізну практичну підготовку студентів, коли складність навчально-практичних завдань можна поступово збільшувати, а результати виконання завдань, отриманих студентами на попередніх етапах практичного вивчення, використовувати як основу для початку проходження наступних етапів. Практичне вивчення можна здійснювати в лабораторних та практичних курсах таких дисциплін спеціальності 151: «Технічні засоби автоматизації» (бакалаврській напрям, 4 курс), «Інтегровані системи управління» (бакалаврській

напряму, 4 курс), «Проектування систем автоматизації» (бакалаврській напрям, 4 курс), «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва» (бакалаврській напрям, 4 курс), «Стандарти та проектування комп'ютерно-інтегрованих систем управління» (магістерській напрям, 1 курс) та «Промисловий Інтернет речей» (магістерській напрям, 1 курс).

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень був запропонований спосіб гібридного моделювання рідких матеріальних потоків періодичного виробництва, яке імітується «віртуальним підприємством» в навчальній комп'ютеризованій лабораторії. Така модель дозволить студентам спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" на базовому рівні більш ефективно набувати цілісних і стійких професійно-практичних знань, умінь та навичок у плануванні та здійсненні основних етапів життєвого циклу комп'ютерно-інтегрованих систем управління періодичним виробництвом, а також дає можливість навчальному закладу просто й дешево виконувати його модернізацію чи адаптацію до неодмінних подальших вдосконалень програмно-технічних засобів та інформаційних технологій комп'ютерно-інтегрованого виробництва.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стандарт вищої освіти бакалавра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування»: затверджено і введено в дію Наказом Міністерства освіти і науки України від 4.10.18 р. №1071 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/151-avtomatizatsiya-ta-kompyuterno-integrovani-tehnologii-bakalavr.pdf>.
2. Стандарт вищої освіти магістра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://mon.gov.ua/storage/app/media/vyshcha/naukovo-metodychna_rada/proekty_standartiv_VO/151-avtomatizatsiya-ta-kompyuterno-integrovani-tehnologiyi-magistr-22052017-bez-matri.doc..
3. Working and learning [Електронний ресурс]: Festo Corporate. - Режим доступу: <https://www.festo.com/group/ru/cms/10968.htm>.
4. An integrated learning system for Industry 4.0 [Електронний ресурс]: Festo Didactic. - Режим доступу: <https://www.festo-didactic.com/int-en/highlights/qualification-for-industry-4.0/project-workstation-i4.0-cp-lab/>.
5. Индустрия 4.0 – будущее технического образования [Електронний ресурс]: Ua.Automation.com. – Режим доступу: <http://ua.automation.com/content/industrija-40-budushhee-tehnicheskogo-obrazovanija>.
6. Как мы взламывали «умную» фабрику [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://habr.com/ru/company/trendmicro/>.
7. Глущенко Ф. А. Разработка модели обучающей платформы для исследования процесса производства в концепции «Индустрия 4.0» / Ф.А. Глущенко, В. Борзых, Дж. Верманн, А.В. Коломбо // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Том 18. – № 3. – С.554-560.
8. Rentzos L. A two-way knowledge interaction in manufacturing education: the teaching factory / L. Rentzos, D. Mavrikios, G. Chryssolouris // Procedia CIRP. – 2015. – V. 32. – P. 31–35.
9. Faller C. Industry 4.0 learning factory for regional SMEs / C. Faller, D. Feldmuller // Procedia CIRP. – 2015. – V. 32. – P. 88–91.
10. Hummel V. Competence development for the holistic design of collaborative work systems in the Logistics Learning Factory / V. Hummel, K. Hуra, F. Ranz, J. Schuhmacher // Procedia CIRP. – 2015. – V. 32. – P. 76–81.
11. Muschard B. Realization of a learning environment to promote sustainable value creation in areas with insufficient infrastructure / B. Muschard, G. Seliger // Procedia CIRP. – 2015. – V. 32. – P. 70–75.
12. Siemens открыла Центр по автоматизации и компьютерно-интегрированным технологиям в Кривом Роге [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://24tv.ua/ru/siemens-otkryla-centr-po-avtomatizatsii-svezhie-novosti-krivogo-roga_n1410243.
13. 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.
14. Папінов В.М. Industrial Internet of Things: практичне вивчення на базі багатофункціональної комп'ютеризованої лабораторії / В.М. Папінов, Я.А. Кулик // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2019. - №2(38). – С.122-137.

15. Папінов В.М. Автоматизований виробничий склад: гібридне моделювання в навчальній комп'ютеризованій лабораторії / В.М. Папінов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології / Міжнародний науково-технічний журнал. – 2020. - №1(39). – С.61-77.
16. Воробієнко П. Компетентнісний підхід у вищій освіті — від теорії до практики / П. Воробієнко, А. Ложковський // Вища школа. – 2016. – №6. – С. 13–20.
17. Чорний О. П. Особливості процесу підготовки фахівців інженерних спеціальностей/ О. П. Чорний, Ю. В. Лашко, Т. П. Коваль // Інженерні та освітні технології в електротехнічних і комп'ютерних системах. – 2013. – № 2. – С. 9-19 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eetecs.kdu.edu.ua>.
18. Загірняк М.В. Віртуальні лабораторні системи і комплекси – нова перспектива наукового пошуку і підвищення якості підготовки фахівців з електромеханіки / М.В. Загірняк, Д.Й. Родькін, О.П. Чорний // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КДПУ. – 2009. – Вип. 2/2009 (6). – С. 8–12.
19. Перекрест А. Л. Реалізація завдань цифрової обробки сигналів з використанням віртуальних та фізичних лабораторних стендів / А. Л. Перекрест, Г. О. Гаврилець, В. В. Снігур // Інженерні та освітні технології в електротехнічних і комп'ютерних системах. – 2014. – № 2 (6). – С. 8-19 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eetecs.kdu.edu.ua>.
20. Чермалых А. В. Использование специализированных компьютерных стендов для постановки виртуальных лабораторных работ / А. В. Чермалых, И. Я. Майданский // Інженерні та освітні технології. – 2015. – № 3 (11). – С. 175-177.
21. Загірняк М.В. Інформаційно-комунікаційні технології у підготовці фахівців технічних спеціальностей / М.В. Загірняк, О.П. Чорний // Інженерна освіта. – 2013. – № 1. – С. 7–19.
22. Batch Control. Part 1: Models and Terminology: ANSI/ISA-88.00.02-2001. - [Чинний від 2010–01–01]. – USA: International Society of Automation.
23. Batch Control. Part 1: Models and Terminology: IEC 61512-1:1997. - [Чинний від 1997–01–01]. – International electrotechnical commission.
24. Автоматизация процессов [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/index.html>.
25. Пупена О.М. Автоматизовані системи управління виробництвом (MES-рівень): курс лекцій для студ. освіт, ст. "магістр" спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" спеціалізації "Інтегровані автоматизовані системи управління " денної та заочної форм навчання / О.М. Пупена, Р.М. Міркевич. - К.: НУХТ, 2016. -135 с.
26. KEPServerEX V6. Manual [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/documents/kepserverex-v5-manual.pdf>.

SPYSOK LITERATURY

1. Standart vyshoyi osvity bakalavra za spetsialnostiu 151 “Avtomatsizatsia ta komputerno-integrovyahy technology” [Electronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/151-avtomatizatsiya-ta-kompyuterno-integrovani-tekhnologii-bakalavr.pdf>.
2. Standart vyshoyi osvity magistra za spetsialnostiu 151 “Avtomatsizatsia ta komputerno-integrovyahy technology” [Electronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : https://mon.gov.ua/storage/app/media/vyshcha/naukovo-metodychna_rada/proekty_standartiv_VO/151-avtomatizatsiya-ta-kompyuterno-integrovani-texnologiyi-magistr-22052017-bez-matri.doc..
3. Working and learning [Electronnyi resurs] : Festo Corporate. - Rezhim dostupu : <https://www.festo.com/group/ru/cms/10968.htm>.
4. An integrated learning system for Industry 4.0 [Electronnyi resurs]. Festo Didactic. - - Rezhim dostupu : <https://www.festo-didactic.com/int-en/highlights/qualification-for-industry-4.0/project-workstation-i4.0-cp-lab/>.
5. Industryia 4.0 – buduscheia technycheskogo obrazovaniya [Electronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : <http://ua.automation.com/content/industrija-40-budushhee-technycheskogo-obrazovaniya>.
6. Kak my vzlamyvaly “umnuyu” fabryku [Electronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : <https://habr.com/ru/company/trendmicro/>.

7. Gluschenko F.A. Razrabotka modeli obuchayustchey platformy dlia issledovania protsessa proizvodstva v koncepsy Industryia 4.0 / F.A. Gluschenko, V. Borzych, Dg. Verman, A.V. Kolombo // Nauchno-technicheskiy vesnyk informatsionnykh technology, mekhaniki i optyky. – 2018. – Tom.18. - #3. – p.554-560.
8. Rentzos L. A two-way knowledge interaction in manufacturing education: the teaching factory / L. Rentzos, D. Mavrikios, G. Chryssolouris // Procedia CIRP. – 2015. – V. 32. – P. 31–35.
9. Faller C. Industry 4.0 learning factory for regional SMEs / C. Faller, D. Feldmuller // Procedia CIRP. – 2015. – V. 32. – P. 88–91.
10. Hummel V. Competence development for the holistic design of collaborative work systems in the Logistics Learning Factory / V. Hummel, K. Hyra, F. Ranz, J. Schuhmacher // Procedia CIRP. – 2015. – V. 32. – P. 76–81.
11. Muschard B. Realization of a learning environment to promote sustainable value creation in areas with insufficient infrastructure / B. Muschard, G. Seliger // Procedia CIRP. – 2015. – V. 32. – P. 70–75.
12. Siemens otkryla Tsentr po avtomatsizatsyi I komputerno-integrovanykh technologyam v Krivom Roge [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : https://24tv.ua/ru/siemens-otkryla-centr-po-avtomatizatsii-svezhie-novosti-krivogo-roga_n1410243.
13. Papinov V.M. Bagatofunktsionalna komputeryzovana laboratoriya dlya naskriznoii praktichnoii pidgotovki studentiv spetsialnosti 151 / V.M. Papinov, Y.A. Kulyk // Optiko-elektronny informatsiynno-energetichnyy technology / Miznarodnyy naukovno-technichnyy zhurnal. – 2018. - №2(36). – С. 89-104.
14. Papinov V.M. Industrial Internet of Things: praktichne vyvchennya na bazii bagatofunktsionalnoii komputeryzovanoii laboratorii / V.M. Papinov, Y.A. Kulyk // Optiko-elektronny informatsiynno-energetichnyy technology / Miznarodnyy naukovno-technichnyy zhurnal. – 2018. - №2(36). – С. 89-104.
15. Pappinov V.M. Avtomatsyzovaniy vyrobnychiy sklad: gibrydne modeliuвання v navchalnyi komputeryzovaniy laboratoriy / V.M. Papinov // Optiko-elektronny informatsiynno-energetichnyy technology / Miznarodnyy naukovno-technichnyy zhurnal. – 2020. - №1(39). – С. 61-77.
16. Vorobienko P. Kompetentnistnyi pidchid u vyshiy osviti — vid teorii do praktyki / P. Vorobienko, A. Lozgovskyy // Vuscha shkola. – 2016. – №6. – С. 13–20.
17. Chornyy O. P. Osoblyvosti protsessa pidgotovky fachivziv inzhenernykh spetsialnostey / O. P. Chornyy, U. V. Lashko, T. P. Koval // Inzhenerni ta osvichni technology v elektrotechnitshnykh ta komputernykh systemakh. – 2013. – № 2. – С. 9-19 [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : <http://eetecs.kdu.edu.ua>.
18. Zagirniak M.V. Virtualniy laboratorniy systemy I komplekxy – nova perspektyva naukovogo poshuku ta pidvyschennia yakosti pidgotovky fachivtsiv z elektromekhaniki / M.V. Zagirniak, D.Y. Rodkin, O.P. Chornyy // Elektromekhanichniy i energozberigayutchiy systemy. – Kremenchuk: KDPU. – 2009. – Vyp. 2/2009 (6). – С. 8–12.
19. Perekrest A. L. Realizatsiya zavdan tsyfrovoyi obrobky sygnaliv z vykorystanniam virtualnykh ta fizychnykh laboratornykh stendiv / A.L. Perekrest, G.O. Gavrylets, V.V. Snigur // Inzhenerni ta osvichni technology v elektrotechnitshnykh ta komputernykh systemakh. – 2014. – № 2 (6). – С. 8-19 [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : <http://eetecs.kdu.edu.ua>.
20. Chermalyk A. V. Ispolzovaniya spetsializirovaniy komputernykh stendov dlya postanovki virtualnykh laboratornykh rabot / A. V. Chermalyk, I. Ya. Maydanskyy // Inzhenerni ta osvichni technology. – 2015. – № 3 (11). – С. 175-177.
21. Zagirniak M.V. Informatsiynno-kommunikatsiynniy technology u pidgotovtsi fachivtsiv technichnykh spetsialnostey / M.V. Chermalyk, O.P. Chornyy // Inzhenerna osvita. – 2013. – № 1. – С. 7–19.
22. Batch Control. Part 1: Models and Terminology: ANSI/ISA-88.00.02-2001. - [2010–01–01]. – USA: International Society of Automation.
23. Avtomatsatsia protsesov [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : <http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/index.html>.
24. Pupena O.M. Avtomatsizovaniy systemy upravlinnia (MES-riven): kurs lektsiy dlya stud. osvit. st. “magistr” 151 “Avtomatsizatsia ta komputerno-integrovanyy technology” spetsyalizatsiyn [Integrovany avtomatsizovaniy systemy upravlinnia] dennoyy ta zaochnoyy form navchannia / O.M.Pupena, R.M. Markevytch. – K.: NUHT. 2016. – 135 s.

25. KEPServerEX V6. Manual [Electronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/documents/kepserverex-v5-manual.pdf>.

Папінов Володимир Миколайович – к.т.н., доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна