

УДК 681.5:621.314.57

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2023-2-11>

### **Сергій ТКАЧЕНКО**

кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, [tkachenko.s.m@nmu.one](mailto:tkachenko.s.m@nmu.one)

ORCID: 0000-0003-1156-3151

Researcher ID: AAI-7727-2020

### **Дмитро БЕШТА**

кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, [beshta.d.o@nmu.one](mailto:beshta.d.o@nmu.one)

ORCID: 0000-0003-2848-2737

### **Лілія БЕШТА**

асистент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, [beshta.l.v@nmu.one](mailto:beshta.l.v@nmu.one)

ORCID: 0000-0001-5041-0962

**Бібліографічний опис статті:** Ткаченко, С., Бешта, Д., Бешта, Л. (2023). Результати дослідження та впровадження в навчальний процес моделі-симулятора автоматизованої фабрики. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering*, 2, 09–98, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2023-2-11>

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ В НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС МОДЕЛІ-СИМУЛЯТОРА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ФАБРИКИ**

Проблематика переходу підприємств до концепції Індустрія 4.0 спонукає до досліджень та впровадження змін у навчальний процес, що дозволить досягти потрібних результатів.

У статті аналізується актуальність даної проблеми, а також обґрунтовується використання макетів технологічних ліній і виробництв від стейкхолдерів для створення спеціалізованих навчально-дослідницьких лабораторій.

Проаналізовано можливості використання навчальної моделі-симулятора фабрики від Fishertechnic – для розробки методів програмного керування та дослідження можливості їх використання у навчальних завданнях лабораторії кіберфізичних систем. Для програмування та проектування програмного забезпечення пропонується застосування програмованих логічних контролерів без залежності від виробника, а також ознайомлення студентів з промисловими контролерами та обладнанням, що відповідає ІЕС 61131-3.

Результатом роботи є еталонна схема функціональної структури кіберфізичної системи, яка дозволяє видати студенту завдання із заздалегідь визначеним результатом та оцінити якість його виконання.

Розглянуто процес розробки функціональної структури керування моделлю симулятора фабрики для вирішення навчальних та дослідницьких завдань у рамках підготовки фахівців 12 та 14 галузей. Проаналізовано технологічну схему моделі симулятора, наявну апаратуру та виконавчі механізми, а також складено алгоритми керування для виділення окремих навчальних та дослідницьких задач.

**Ключові слова:** кіберфізична система, технологічна модель, ПЛК Siemens, навчальна модель, функціональна структура, оцінка якості.

### **Serhii TKACHENKO**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Information Technologies and Computer Engineering, Dnipro University of Technology, Dmytro Yavornytskyi ave., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, tkachenko.s.m@nmu.one*

**ORCID:** 0000-0003-1156-3151

**Researcher ID:** AAI-7727-2020

### **Dmytro BESHTA**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Information Technologies and Computer Engineering, Dnipro University of Technology, Dmytro Yavornytskyi ave., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, beshta.d.o@nmu.one*

**ORCID:** 0000-0003-2848-2737

### **Liliia BESHTA**

*Assistant at the Department of Information Technologies and Computer Engineering, Dnipro University of Technology, Dmytro Yavornytskyi ave., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, beshta.l.v@nmu.one*

**ORCID:** 0000-0001-5041-0962

**To cite this article:** Tkachenko, S., Beshta, D., Beshta, L. (2023). Rezultaty doslidzhennia ta vprovadzhennia v navchalnyi protses modeli-symuliatora avtomatyzovanoi fabryky [The results of the research and introduction into the educational process of the model-simulator of the automated factory]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering*, 2, 90–98, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2023-2-11>

## **THE RESULTS OF THE RESEARCH AND INTRODUCTION INTO THE EDUCATIONAL PROCESS OF THE MODEL-SIMULATOR OF THE AUTOMATED FACTORY**

*The problem of the transition of enterprises to the concept of Industry 4.0 encourages research and implementation of changes in the educational process, which will allow to achieve the desired results.*

*The article analyzes the relevance of this problem, and also justifies the use of models of technological lines and productions from stakeholders for the creation of specialized educational and research laboratories.*

*The possibilities of using the educational model-simulator of the factory from Fishertechnik have been analyzed – for the development of software control methods and the possibility of using them in the educational tasks of the laboratory of cyber-physical systems. For programming and software design, it is proposed to use programmable logic controllers without dependence on the manufacturer, as well as to familiarize students with industrial controllers and equipment that conforms to IEC 61131-3.*

*The result of the work is a reference diagram of the functional structure of the cyber-physical system, which allows the student to issue a task with a predetermined result and evaluate the quality of its execution.*

*The process of developing a functional structure for controlling a factory simulator model for solving educational and research tasks in the framework of training specialists of 12 and 14 branches is considered. The technological scheme of the simulator model, the available equipment and executive mechanisms were analyzed, as well as the control algorithms for the selection of individual educational and research tasks were compiled.*

**Key words:** *cyberphysical system, technological model, Siemens PLC, educational model, functional structure, quality assessment.*

**Актуальність проблеми.** Перехід підприємств до концепції Індустрія 4.0 пов'язаний з впровадженням у навчальний процес нових дисциплін, що дозволяють розробляти, проектувати та програмувати кіберфізичні, автоматизовані, інтегровані у керування виробництвом системи із застосуванням серійних керуючих обчислювальних засобів. Для цього відкриваються спеціалізовані навчально-дослідницькі лабораторії із застосуванням макетів технологічних ліній і виробництв від стейкхолдерів.

При цьому важливим аспектом є дослідження можливостей використання навчальних

макетів у навчальних завданнях та розробка методів програмного керування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним з таких макетів є навчальна модель – симулятор фабрики від Fischertechnik, що складається з декількох модулів з повним набором приводів та датчиків (Factory Simulation 24V, 2023).

Для керування технологічними моделями окремих модулів фірма Fischertechnik має власні контролери (based fischertechnik TXT controller), які застосовуються та дозволяють здобути початкові знання у сфері кіберфізичних

систем. Для керування модулями у складі моделі симулятора фабрики можливе використання, як вищезазначених контролерів, так і ПЛК без залежності від бренда.

Окрім того слід зауважити, що на підприємствах України застосовуються повноцінні промислові контролери, здебільшого фірми Siemens та подібні, які відповідають стандарту IEC 61131-3 (Інтерактивний каталог СА 01, 2023). Крім того, доцільно підвищувати ступінь використання дослідно-навчального обладнання з тим, щоб ознайомити студента з різними методами програмування й проектування програмного забезпечення, а також передбачити можливість дослідження можливості використання наново створених методів.

Таким чином, виникає актуальна задача розробки методів програмного керування моделлю фабрики від Fischertechnik і дослідження можливості їх використання у навчальних завданнях лабораторії кіберфізичних систем. Результатом вирішення цієї задачі є еталонна схема функціональної структури кіберфізичної системи з окремих модулів та технологічної лінії у складі моделі симулятора фабрики в цілому. Цей результат повинен дозволити видати студенту типове навчальне завдання із заздальгідь гарантованим еталонним результатом, що дозволить оцінити якість його виконання.

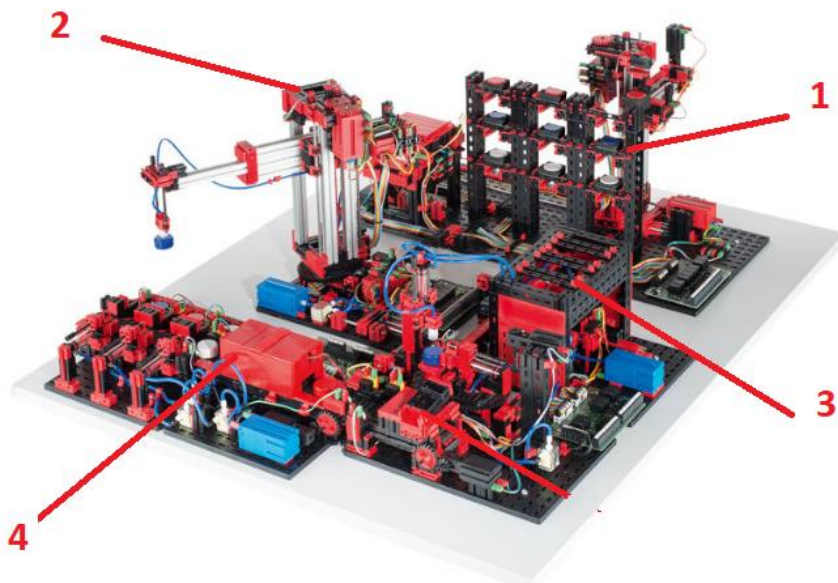
**Визначення мети дослідження.** Виходячи з аналізу технологічної схеми моделі симулятора фабрики, наявних датчиків та виконавчих

механізмів, їх схеми підключення до використаного промислового обчислювального обладнання, а також існуючих підходів до складання алгоритмів керування, розробити і випробувати функціональну структуру керування моделлю симулятора фабрики для виділення окремих навчальних та дослідницьких задач у рамках підготовки фахівців 12 та 14 галузей, тих, що вивчають курси, пов'язані із створенням програмного забезпечення кіберфізичних систем.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розглянемо наявну модель симулятора фабрики індустрії 4.0 від Fischertechnik (Factory Simulation 24V – Datasheet, 2023).

Кожен з модулів на рисунку 1 може працювати як в автономному режимі, так і у складі моделі симулятора фабрики. Назви «симулятор фабрики» та її модулів – від виробника моделі (Factory Simulation 24V – Datasheet, 2023). Модель симулятор фабрики може виконувати транспортування, сортування та операції обумовлені технологічним процесом імітації обробки деталей – різнокольорових дерев'яних елементів у формі низьких циліндрів. Обладнання 2 і 3 має вакуумні присоски для захоплення деталей, а 3 і 4 – пневматичні органи, тому воно забезпечено власними мікро-компресорами.

Сортувальна лінія з визначенням кольору 4 має камеру розпізнавання деталей за кольором з відповідним датчиком і 3 лотки. У лотки сортовані деталі розподіляються в залежності від



**Рис. 1. Модель симулятора фабрики від Fischertechnik та її модулі:**  
1 – автоматизований багатоярусний склад; 2 – робот з вакуумним захопленням;  
3 – мультипроцесова станція з піччю; 4 – сортувальна лінія з визначенням кольору

кольору за допомогою штовхачів на пневмоциліндрах після того, як будуть переміщені транспортером лінії в зону дії відповідного штовхача. Лотки та приймач транспортера мають оптичні датчики наявності деталі.

Мультипроцесова станція з піччю 4 має імітатор печі, з пневматичною подачею деталі та імітатор фрези. Переміщення деталі по станції відбувається за допомогою системи: однолінійний маніпулятор на сервоприводі з вакуумною присоскою – обертовий стіл подачі до фрези – пневматичний штовхач – транспортер. Відповідно, спочатку деталь на деякий час потрапляє у піч, потім транспортується до фрези і наостанок зіштовхується на транспортер, який досилає деталь на транспортер сортувальної лінії 4. Приймальний стіл печі має оптичний датчик наявності деталі.

Робот з вакуумним захопленням 2 – основна зв'язуюча ланка всієї моделі симулятора фабрики. Він переносить деталь з виходу автоматизованого багатоярусного складу 1 на мультипроцесову станцію з піччю 3 та з лотків сортувальної лінії з визначенням кольору 4 на вхід автоматизованого багатоярусного складу 1. Такий функціонал вимагає врахування точних просторових координат, тому тут для обліку лінійних та обертового переміщень використовуються енкодері. Для власне, переміщень використано сервоприводи.

Автоматизований багатоярусний склад 1 має співпадаючий вихід з входом де деталь видається й приймається на виході камери з реверсивним транспортером. З іншого боку камери встановлено поличковий укладальник з трьома лінійними ступенями свободи, який здатен вивантажити та завантажити деталь з відповідної комірки стелажу. Деталі розміщено у спеціальних контейнерах, тому тут пневматика не використовується – лише сервоприводи й енкодері. Також на виході автоматизованого багатоярусного складу є оптичний датчик наявності лотку для деталей на вході-виході.

Для керування обладнанням моделі симулятора фабрики було виділено 2 процесори Siemens: CPU1215C та CPU1211C, причому останній використано виключно під потреби енкодерів роботу з вакуумним захопленням. До процесора CPU1215C додано два модулі розширення по 16 дискретних входів та 16 виходів кожний. Також використано панель оператора Simatic HMI KTP700 Comfort для керування моделлю симулятора фабрики (Інтерактивний каталог CA 01, 2023).

Є деякі готові рішення з керування моделлю симулятора фабрики, що опубліковані з посиланням від сайту компанії (The PLC sample

program for controlling the fischertechnik Training Factory Industry 4.0, 2023) та у youtube (Fabrik Simulation/Factory Simulation/fischertechnik, 2023), однак не складають для вирішення задачі інтерес оскільки реалізовані для іншої конфігурації модулів фабрики з застосуванням процесора серії S7-1500 або містять відео з працюючим обладнанням без відповідного уточнення та аналізу апаратних та програмних рішень.

Для навчально-дослідницького стенду було розроблене схемотехнічне рішення на основі виділеного під цю задачу вказаного вище обладнання, тим самим модель симулятора фабрики була підготовлена для досліджень і випробувань алгоритмів і програмних рішень.

Для розробки алгоритмів і функціональних структур існують наступні передумови:

1) модель симулятора фабрики складається з чотирьох окремих модулів, які можуть працювати окремо або разом;

2) енкодері роботу з вакуумним захопленням 2 винесені на окремий контролер CPU1211C;

3) контролер CPU1215C є головним, з ним мають обмінюватися даними CPU1211C та HMI-інтерфейс. Зв'язок між зазначеним обладнанням здійснюється за допомогою PROFINET;

4) сортування деталей за кольором відбувається в окремій камері за допомогою оптичного аналогового датчика, що є окремим питанням з області електричних вимірювань.

Той факт, що модель симулятора фабрики складається з чотирьох модулів, дозволяє сформулювати п'ять окремих підзадач: по одній задачі керування на кожен модуль та одна задача синхронізації всієї фабрики. Всі п'ять підзадач виконують свої функції і є функціональними блоками загальної системи.

Обробка даних від камери визначення кольору є окремою задачею, яка, тим не менш обслуговує функціональний блок керування сортувальної лінії 4.

Розміщення енкодерів робота з вакуумним захопленням 2 на окремому контролері породжує ще одну задачу – обмін даними від енкодерів між CPU1211C та CPU1215C (Simatic S7. S7-1200 Programmable controller, 2023).

Використання HMI-панелі KTP700 ставить окрему задачу, для окремого функціонального блоку. Це інтерфейс користувача, який дозволяє контролювати роботу фабрики та виконувати завдання еталонних координат робота з вакуумним захопленням 2 та поличкового укладальника багатоярусного складу.

Основна схема функціональної структури має вигляд (рис. 2).

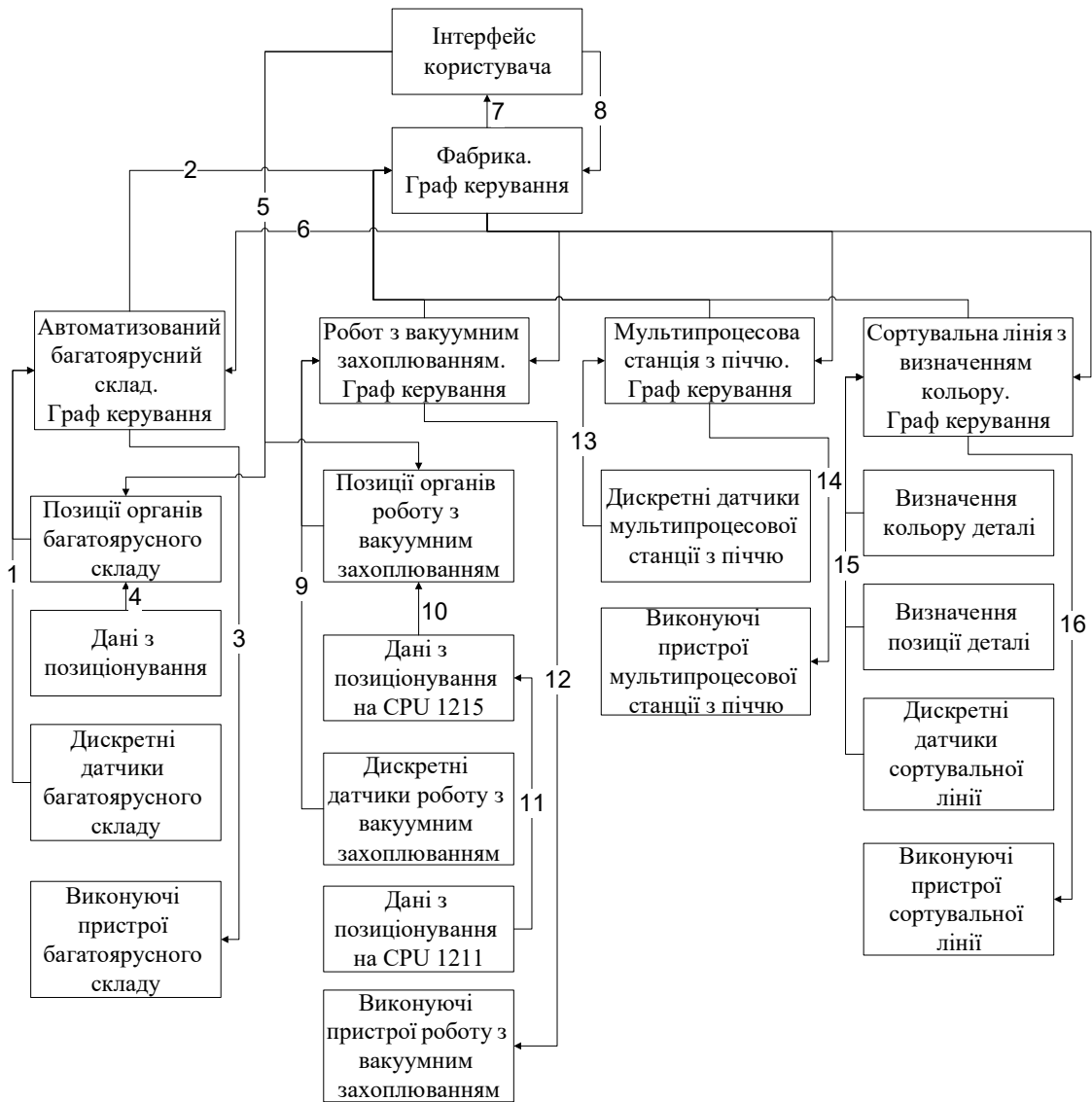


Рис. 2. Схема функціональна симулятора фабрики

Навіть без детального розгляду схеми на рис 2. можна відмітити деяку подібність задач, пов'язаних із реалізацією графів керування, як окремих модулів, так і всієї фабрики. Дійсно, всі п'ять задач зводяться до обробки деякої групи інформаційних ознак типу «Так-Ні» та видачі за ними керуючих впливів. Іншими словами, має місце подібність інформаційних зв'язків у середині груп: 1, 9, 13, 15 – функціонально подібні; 3, 12, 14, 16 – функціонально подібні; 2 є груповою ознакою поточних станів окремого обладнання; 6 – груповий керуючий вплив на графи керування обладнанням. Як видно по зв'язкам від графу керування фабрикою (рис. 2), твердження щодо подібності задач, пов'язаних окремими модулями, також справедливе: тут інформаційними ознаками є значимі для загального керування стани окремих модулів, а керуючі

впливи є командами для інших графів. Такий підхід дозволяє одночасно задіяти п'ять груп студентів для вирішення, відповідно, п'яти варіантів однієї й тієї ж самої задачі. Звичайно, кількість вершин графів керування, кількість входів та виходів для кожного окремого випадку буде дещо різною, але це кількісні відмінності, а не якісні – в усіх випадках мають бути сформовані умови переходів за інформаційними ознаками «Так-Ні» та за затримками часу.

Для вирішення означених п'яти задач побудови графів був використаний метод програмування за допомогою функціональних блоків (ІЕС 61131-3, 2023). На сьогодні це єдиний достатньо обґрунтований підхід, оскільки дозволяє потенційним групам студентів, задіяним на практичних та лабораторних роботах з моделлю симулятору фабрики, вирішувати навчальну

чи дослідну задачу автономно та паралельно іншим, що економить час на навчання.

Функціональні блоки «Дискретні датчики...» та «Виконавчі пристрої...» не є окремими задачами і виконуються під час підготовки проекту в середовищі програмування за схемою підключення. Приклад реалізації такого блоку для лінії сортування показано на рисунку 3.

Тегова таблиця має виконуватись під кожен з п'яти означених вище функціональних блоків з графами керування, оскільки є реалізацією у тому числі й інформаційних зав'язків функціональної структури.

Розглянемо блоки «Позиції органів поличкового укладальника автоматизованого багаторярусного складу» та «Позиції органів роботи з вакуумним захоплюванням». Це схожі задачі, пов'язані з позиціонуванням, а точніше з виявленням моменту події досягнення заданого положення у просторі рухомою ланкою одного з механізмів. Так, обидва механізми мають рух елементів вперед і назад, рух у вертикальній площині, рух вздовж багаторярусного складу для поличкового укладальника та обертання навкруг осі для вакуумного захоплюючого робота. Також є датчики крайніх положень рухомих елементів на додачу до енкодерів. Таким чином, знову отримуємо дві рівноцінні підзадачі, що можуть виконуватись двома групами. Використовуючи метод програмування за допомогою функціональних блоків, ці дві групи можуть одночасно займати обладнання симулятора фабрики, оскільки у технічному рішенні моделі всі три енкодери вакуумного маніпулятора винесені на окремий контролер CPU1211. Перевірено на практиці й доведено, що частота надходження імпульсів на енкодер не висока (Factory Simulation 24V – Datasheet, 2023), до 1 кГц, і дозволяє використовувати для вирі-

шення задачі не лише енкодери, як типові бібліотечні компоненти, але й лічильники. Інший спосіб вирішення задачі – використання системи апаратних переривань. Тобто потрібно рахувати апаратні переривання, що надходять від входів-приймачів імпульсів від енкодерів і таким чином визначати поточну координату. Крім того, був апробований і четвертий спосіб – не використовувати енкодери взагалі, а координати визначати по затримці часу. Таким чином, студенти можуть відпрацювати різні способи обробки імпульсів та позиціонування маніпуляторів, у тому числі й роботу з перериваннями та структуру програми з кількома організаційними блоками.

У процесі налагодження маніпуляторів, були виявлені «зайві» імпульси від енкодерів. Тобто у початковому положенні маніпулятора може виникнути не нульова координата. До 3–5 зайвих імпульсів спотворення не суттєве, але для позиціонування обертання роботу з вакуумним захоплюванням, наприклад, спотворення сягало до 30 імпульсів. У результаті робот з вакуумним захоплюванням не втрапляв присоскою на поверхню деталі і не міг її підхопити. У зв'язку з цим рекомендується для точного позиціонування під час обертання роботу з вакуумним захоплюванням та для точного позиціонування під час обертання поличкового укладальника багаторярусного складу, активний рівень сигналу скидання екземпляру відповідного функціонального блоку таймера, енкодера чи лічильника затримувати на час не менше 1,5 с. Це було виявлено емпіричним шляхом.

Функціональний блок визначення позиції деталі не суттєвий, реалізується типовим бібліотечним функціональним блоком лічильника або за допомогою обробника апаратного переривання в окремому організаційному блоці.

Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
Pulse_PLC_Dia0	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	pulse counter
LghtInlt_SM1_Dib0	Bool	%I9.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	light-barrier inlet
LghtBhnd_SM1_Dib1	Bool	%I9.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	light-barrier behind color sensor
LghtWht_SM1_Dib3	Bool	%I9.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	light-barrier white
LghtRd_SM1_Dib4	Bool	%I9.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	light-barrier red
LghtBlu_SM1_Dib5	Bool	%I9.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	light-barrier blue
Colr_PLC_AIO	Int	%IW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	color sensor
Conv_SM1_DQb0	Bool	%Q9.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	motor conveyor belt
Compr_SM1_DQb1	Bool	%Q9.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Compressor
FrstEj_SM1_DQb2	Bool	%Q9.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	valve first ejector (white)
SecEj_SM1_DQb3	Bool	%Q9.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	valve second ejector (red)
ThrdEj_SM1_DQb4	Bool	%Q9.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	valve third ejector (blue)
TempOut9	Byte	%QB9	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Рис. 3. Таблиця тегів для модуля сортувальної лінії симулятора фабрики

Більш суттєвим є визначенням кольору деталі у модулі сортувальної лінії. Останнє пов'язане із задачею визначення еталонних проміжків аналогового сигналу 0–10 В для білої, червоної та синьої деталі у камері визначення кольору. Не дивлячись на те, що камера є більш-менш затіненою, точність визначення кольору може залежати від освітленості приміщення, розміщення біля стенду джерела світла, світло-відбиття навколишніх предметів. Крім того, поверхня деталі у зоні дії датчика має округлу форму, тому її світловідбиваючі властивості сильно залежать від положення відносно датчика у момент вимірювання. У зв'язку з цим, група студентів, що вирішує задачу визначення позиції деталі повинна виконати дослідження із визначення еталонних значень сигналів аналогового оптичного датчика для заданих кольорів. Крім того, програмне рішення для сортувальної лінії повинне містити обов'язкову зупинку конвеєра, що транспортує деталь, у певному місці всередині камери визначення кольору. Еталонні координати зупинки конвеєра (у імпульсах), а також координати трьох штовхачів деталей також мають бути визначені студентом емпірично у процесі навчання.

Не менш важливою для підготовки фахівця задачею, що можна вирішувати на навчально-дослідницькій моделі симулятора фабрики, є задача побудови каналу зв'язку PROFINET між контролерами CPU1215C та CPU1211C. Момент досягнення маніпулятором заданої просторової координати можна передати й без PROFINET – через вільні дискретні входи й виходи контролерів, і поточне технічне рішення це дозволяє. Але наявність об'єднаних у мережу контролерів дозволяє обробляти дані централізовано, відображати додаткову інформацію на інтерфейсі кіберфізичної системи та для слухачів курсу набувати навички з організації, налагодження каналу зв'язку, підготовки до передачі та обробки прийнятих даних. Це окрема задача із своїми алгоритмами, як на боці CPU1215C, так і на боці CPU1211C, що вирішуватись, як методом побудови функціональних блоків, так і функцій, чи окремих організаційних блоків. Паралельно можуть бути задіяні 2 підгрупи, котрі, тим не менш, мають співпрацювати одна з одною у питанні організації прикладного інтерфейсу обміну даними.

Інтерфейс користувача має надавати засоби для задання комірки завантаження та вивантаження деталі зі багатоярусного складу. Хоча для цього використано HMI-панель KTP700 Comfort, він може бути реалізований і на персональному комп'ютері засобами WinCC. На

сьогодні тут не передбачено алгоритмів і графів керування і робота має стосуватись виключно питань організації людино-машинного інтерфейсу наявними у Tia Portal V14 засобами.

Звичайно, після вирішення означених вище задач, всі рішення обов'язково мають бути зібрані у одному програмному проекті із подальшими їх взаємоузгодженням та відлагодженням у загальній програмі керування моделлю симулятора автоматизованої фабрики.

Таким чином, отримуємо групу задач, які можуть виконуватись на навчально-дослідницькій моделі симулятора фабрики у рамках навчального курсу, показану у таблиці 1.

Виходячи із міркувань обов'язковості виконання усього комплексу задач у таблиці 1, навчальний курс чи роботи із дослідження складаються із 7 етапів, причому виконання 1 і 2 строго послідовне, а інші можуть виконуватись у будь-якому порядку за виключенням 7-го. Вона у будь-якому випадку є завершальною для всіх підгруп підготовки і з точки зору планування навчального навантаження на модель симулятора фабрики є «вузьким» місцем. Питання легко вирішується, якщо процес відлагодження всього програмного забезпечення організувати розподілено у часі. Для цього кожна окрема підгрупа повинна із самого початку використовувати один і той же програмний проект, крім того підгрупи мають обмінятися одна з одною готовими програмними рішеннями по роботам 1–2 або отримати еталонні рішення у випадку, якщо потрібний варіант завдання не виконувався. Рішення мають бути включені у робочий проект. У результаті завдання 7 буде виконане паралельно відлагодженню рішень за п. 3–6.

Таким чином, запропонована функціональна структура для програмного забезпечення моделі симулятора фабрики дозволяє організувати одночасну підготовку від 12 до 16 підгруп або окремих слухачів з використанням паралельно симуляторів процесорів серії 1200 у самому Tia Portal.

На сьогодні на основі запропонованої функціональної структури впроваджено і випробувано, в якості еталонно-демонстраційної, програма керування обладнанням навчально-дослідницької моделі симулятора фабрики від Fischertechnik. Стенд з цією програмою використовується для реклами профільних спеціальностей у Національно-технічному університеті «Дніпровська політехніка» та для створення методичного забезпечення спеціальних предметів спеціальностей 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», а також 123 «Комп'ютерна інженерія».

Таблиця 1

**Розподіл окремих навчальних та дослідницьких завдань, які можуть виконуватись у курсі навчання із використанням моделі симулятора фабрики**

№ з/п	Завдання курсу	Кількість підгруп
1	Підготовка проєкту та таблиця тегів (інформаційних ознак). Варіанти завдання: – автоматизований багатоярусний склад; – робот з вакуумним захопленням; – мультипроцесова станція з піччю; – сортувальна лінія з визначенням кольору; – фабрика із задіянням всіх зазначених модулів.	5 підгруп
2	Написання і відлагодження графу керування. Варіанти завдання: – автоматизований багатоярусний склад; – робот з вакуумним захопленням; – мультипроцесова станція з піччю; – сортувальна лінія з визначенням кольору; – фабрика із задіянням всіх зазначених модулів.	5 підгруп
3	Використання бібліотеки енкодерів. Варіанти завдання: – позиції органів багатоярусного складу; – позиції органів роботи з вакуумним захопленням	2 підгрупи
	Використання бібліотеки лічильників. Варіанти додаткового завдання: – позиції органів багатоярусного складу; – позиції органів роботи з вакуумним захопленням.	
	Використання бібліотеки таймерів. Варіанти додаткового завдання: – позиції органів багатоярусного складу; – позиції органів роботи з вакуумним захопленням.	
	Використання обробників апаратних переривань. Варіанти додаткового завдання: – позиції органів багатоярусного складу; – позиції органів роботи з вакуумним захопленням.	
4	Визначення кольору деталі. Варіанти завдання: – позиціонування деталі з використанням бібліотеки лічильників; – позиціонування деталі з використанням обробників апаратних переривань.	2 підгрупи
5	Передача даних мережею PROFINET. Варіанти завдання: – передача даних від енкодерів CPU1211C; – передача команди очистки буферів даних енкодерів від CPU1215C.	2 підгрупи
6	Створення інтерфейсу користувача: – на панелі HMI; – на SCADA-системі.	2 підгрупи
7	Відлагодження всього програмного рішення для функціональної структури	Залежить від попередньої кількості підгруп

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Виходячи з аналізу технологічної схеми моделі симулятора фабрики Fischertechnik, його датчиків та виконавчих механізмів, схеми підключення до використаного промислового обчислювального обладнання, існуючих методів та рішень для складання алгоритмів керування, було розроблено, випробувано і впроваджено функціональну структуру керування моделлю симулятора фабрики від Fischertechnik, яка дозволяє структурно визначити окремі навчальні та дослідницькі задачі у рамках підготовки фахівців галузі 12 «Інформаційні технології» та галузі 14 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Запропоноване рішення дозволяє на моделі організувати від 7 до 11 окремих лабораторних робіт, пов'язаних з різноплановими питаннями: підготовка проєкту та даних, складання та програмна реалізація графу керу-

вання, отримання даних з позиціонування органів обладнання різними способами, передача даних мережею PROFINET, створення інтерфейсу користувача, відлагодження колективно створених проєктів. Таким чином, стає можливим більш повно і ефективно використовувати лабораторну модель симулятора фабрики Fischertechnik, як для підготовки фахівців 12-ї та 14-ї галузей, так і для виконання досліджень з проєктування та створення кіберфізичних систем, включаючи методи обробки результатів вимірювань, та передачу даних між розподіленими обчислювальними вузлами.

Подальший розвиток досліджень буде спрямовано на розвиток підходів до створення інтерфейсів користувача: розробці й обґрунтуванню дизайну, протоколюванню й збереженню даних, створенню й збереженню технологічних рецептів, питанням захисту інформації.



**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Factory Simulation 24V – Training models. URL: <http://surl.li/goofq> (дата звернення 24.04.2023 р.)
2. Інтерактивний каталог CA 01. Siemens. URL: <http://surl.li/goosb> (дата звернення 24.04.2023 р.)
3. Factory Simulation 24V – Datasheet. URL: <http://surl.li/googf> (дата звернення 24.04.2023 р.)
4. The PLC sample program for controlling the fischertechnik Training Factory Industry 4.0. URL: <http://surl.li/dcnvj> (дата звернення 24.04.2023 р.)
5. Fabrik Simulation/Factory Simulation/fischertechnik. URL: <http://surl.li/dcnvq> (дата звернення 24.04.2023 р.)
6. Simatic S7. S7-1200 Programmable controller. System Manual. – Siemens, 05/2021. 1418 p. URL: <http://surl.li/gooln> (дата звернення 24.04.2023 р.)
7. IEC 61131-3. Programmable controllers. Part 3: Programming languages. International Electrotechnical Commission. 226 p. URL: <http://surl.li/gooix> (дата звернення 24.04.2023 р.)

**REFERENCES:**

1. Factory Simulation 24V – Training models. URL: <http://surl.li/goofq> (access date 24/04/2023)
2. Factory Simulation 24V – Datasheet. URL: <http://surl.li/googf> (access date 24/04/2023)
3. Interactive catalog SA 01. Siemens. URL: <http://surl.li/goosb> (access date 24/04/2023)
4. The PLC sample program for controlling the fischertechnik Training Factory Industry 4.0. URL: <http://surl.li/dcnvj> (access date 24/04/2023)
5. Fabrik Simulation/Factory Simulation/fischertechnik. URL: <http://surl.li/dcnvq> (access date 24/04/2023)
6. Simatic S7. S7-1200 Programmable controller. System Manual. Siemens, 05/2021. 1418 p. URL: <http://surl.li/gooln> (access date 24/04/2023)
7. IEC 61131-3. Programmable controllers. Part 3: Programming languages. International Electrotechnical Commission. 226 p. URL: <http://surl.li/gooix> (access date 24/04/2023)