

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій (№ 302)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

 Олександр ПРОХОРОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

« 29 » 08 2023 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ОБОВ'ЯЗКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Промислова автоматизація, вбудовані системи реального часу та

Інтернету-речей

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 12 «Інформаційні технології»

(цифри і найменування галузі знань)

Спеціальність: 122 «Комп'ютерні науки»

(код та найменування спеціальності)

Освітня програма: «Комп'ютеризація обробки інформації та
управління»

(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Харків 2023 рік

Розробник: Олександр ПРОХОРОВ, професор, д.т.н., професор

(ім'я та прізвище, посада, науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

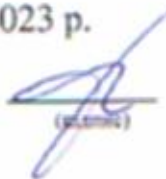
Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій

(назва кафедри)

Протокол № 659/09 від « 29 » серпня 2023 р.

Завідувач кафедри д.т.н., професор

(науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Олег ФЕДОРОВИЧ

(ім'я та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 5	<p style="text-align: center;">Галузь знань: <u>12 «Інформаційні технології»</u> (шифр і найменування)</p> <p style="text-align: center;">Спеціальність: <u>122 «Комп'ютерні науки»</u> (код і найменування)</p> <p style="text-align: center;">Освітня програма: <u>«Комп'ютеризація обробки інформації та управління»</u> (найменування)</p> <p style="text-align: center;">Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)</p>	Обов'язкова
Кількість модулів – 2		Навчальний рік
Кількість змістових модулів – 2		2023/2024
Індивідуальне завдання __ РР на тему „Розробка програмно-технічного комплексу автоматизації ” (назва)		Семестр
Загальна кількість годин: денна – 60*/150		8-й
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 5 самостійної роботи студента – 7.5		Лекції *
		36 годин
		Практичні, семінарські*
		-
		Лабораторні *
	24 години	
	Самостійна робота	
	90 годин	
	Вид контролю	
	модульний контроль, РР, іспит	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить – 60/150.

* Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину в залежності від розкладу занять.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення – формування теоретичних знань та практичних навичок щодо сучасних методів і технологій Індустрії 4.0 для проектування автоматизованих систем управління складними динамічними системами та технологічними процесами на базі контролерів, вбудованих комп'ютерних систем, технологій Інтернету речей (IoT).

Завдання – набуття вмінь і навичок розроблення програмно-апаратних систем на базі контролерів, вбудованих комп'ютерних систем, технологій Інтернету речей; вивчення сучасних методів та технологій промислової автоматизації за допомогою програмованих засобів для вирішення задач розробки систем управління, збору, обробки, передачі, збереження і відображення інформації у складних динамічних системах та технологічних процесах.

Компетентності, які набуваються:

- загальні:

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК3. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК4. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК5. Здатність спілкуватися іноземною мовою.

ЗК6. Здатність вчитися й оволодівати сучасними знаннями.

ЗК7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК8. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК11. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

- спеціальні (фахові):

СК2. Здатність до виявлення статистичних закономірностей недетермінованих явищ, застосування методів обчислювального інтелекту, зокрема статистичної, нейромережевої та нечіткої обробки даних, методів машинного навчання та генетичного програмування тощо.

СК3. Здатність до логічного мислення, побудови логічних висновків, використання формальних мов і моделей алгоритмічних обчислень, проектування, розроблення й аналізу алгоритмів, оцінювання їх ефективності та складності, розв'язності та нерозв'язності алгоритмічних проблем для адекватного моделювання предметних областей і створення програмних та інформаційних систем.

СК6. Здатність до системного мислення, застосування методології системного аналізу для дослідження складних проблем різної природи, методів формалізації та розв'язування системних задач, що мають суперечливі цілі, невизначеності та ризики.

СК9. Здатність реалізувати багаторівневу обчислювальну модель на основі архітектури клієнт-сервер, включаючи бази даних, знань і сховища даних, виконувати розподілену обробку великих наборів даних на кластерах стандартних серверів для забезпечення обчислювальних потреб користувачів, у тому числі на хмарних сервісах.

СК11. Здатність до інтелектуального аналізу даних на основі методів обчислювального інтелекту включно з великими та погано структурованими

даними, їхньої оперативної обробки та візуалізації результатів аналізу в процесі розв'язування прикладних задач.

СК17. Здатність до розробки програмного забезпечення для задач управління об'єктами та процесами у реальному часі.

Очікувані результати навчання:

ПР4. Використовувати методи обчислювального інтелекту, машинного навчання, нейромережевої та нечіткої обробки даних, генетичного та еволюційного програмування для розв'язання задач розпізнавання, прогнозування, класифікації, ідентифікації об'єктів керування тощо.

ПР8. Використовуватиме методологію системного аналізу об'єктів, процесів і систем для задач аналізу, прогнозування, управління та проектування динамічних процесів в макроекономічних, технічних, технологічних і фінансових об'єктах.

ПР12. Застосовувати методи та алгоритми обчислювального інтелекту та інтелектуального аналізу даних в задачах класифікації, прогнозування, кластерного аналізу, пошуку асоціативних правил з використанням програмних інструментів підтримки багатовимірного аналізу даних на основі технологій Data Mining, Text Mining, Web Mining.

ПР18. Виконувати розробку інструментальних засобів та програмного забезпечення для управління складними системами та процесами у реальному часі.

Пререквізити:

- ОК4. Вступ до спеціальності.
- ОК7. Створення візуальних інтерфейсів.
- ОК13. Веб-технології та веб-дизайн.
- ОК26. Розробка баз даних та знань.
- ОК27. Технологія створення програмних продуктів.
- ОК30. Створення систем штучного інтелекту та машинне навчання.

Кореквізити:

- ОК37. Дипломне проектування

3. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовий модуль 1. Промислова автоматизація та вбудовані системи.

Тема 1. Вступ до навчальної дисципліни «Промислова автоматизація, вбудовані системи реального часу та Інтернету-речей». Роль і значення промислової автоматизації та Інтернету речей. Цифрова трансформація. Концепція Індустрії 4.0. Напрямки Industry 4.0: промисловий інтернет, хмарні технології, аналіз великих даних, цифрове моделювання, адитивне виробництво, доповнена і віртуальна реальність, роботи, кібербезпека. Сучасні тенденції промислової автоматизації та вбудованих систем. Місце дисципліни в навчальному плані. Список рекомендованої літератури.

Тема 2. Основні поняття автоматизації управління складними динамічними системами та технологічними процесами

Основні поняття промислової автоматизації. Об'єкти автоматизації. Дискретні та безперервні процеси. Задачі управління. Проект промислової автоматизації. Сучасні тенденції в промисловій автоматизації. Системна інтеграція проектів АСУ ТП. Аналіз технологічного процесу як об'єкта управління. Основи побудови розподіленої АСУ ТП. Основні поняття і функції розподіленої АСУ ТП. Рівні АСУ. Основні вимоги до АСУ ТП.

Тема 3. Обладнання та програмне забезпечення сучасних систем промислової автоматизації. Короткий огляд апаратно-технічних засобів промислової автоматизації. Склад і загальна характеристика. Короткий огляд програмних засобів промислової автоматизації.

Тема 4. Апаратно-технічні засоби автоматизації управління польового рівня. Польовий рівень. Загальна класифікація та основні характеристики датчиків. Датчики положення. Датчики переміщення. Силомоментні датчики. Датчики температури і рівня. Локаційні датчики і системи технічного зору. Інтелектуальні датчики. Виконавчі механізми. Класифікація та особливості управління.

Тема 5. Програмувальні технічні засоби управління. Класи контролерних засобів. Програмувальні логічні контролери PLC. Структура типового контролера і принцип роботи. Резервовані структури контролерів. Мікроконтролери та мікрокомп'ютери. Промислові комп'ютери. Класифікація та особливості. Загальна характеристика шин. Архітектура PC-контролера. Одноплатні мікрокомп'ютери. Сучасні апаратно-технічні засоби автоматизації.

Тема 6. Програмування PLC. ПІД-регулювання. Загальна характеристика стандарту IEC 61131-3 з програмування контролерів. Огляд мов програмування: ST, IL, FBD, LD, SFC. Приклади на мові FBD та LD. Середовища програмування ПЛК. Системи автоматичного регулювання. Типові ланки систем регулювання. Типи регуляторів. Двопозиційний регулятор (ON/OFF). Трипозиційний регулятор. Типові регулятори: П, ПІ, ПІД, ПІД. Пропорційна складова ПІД-регулятора. Інтегральна складова ПІД-регулятора. Диференційна складова ПІД-регулятора. Властивості системи з ПІД-регулятором. Вибір закону регулювання та типу регулятора. Рекомендації щодо налаштування параметрів регулювання. Нечітка логіка в ПІД-регуляторах. Принципи побудови нечіткого ПІ-регулятора. Нейронні мережі в ПІД-регуляторах.

Тема 7. Промислові мережі та технології зв'язку. Сучасні промислові мережі і протоколи. Загальна характеристика. Класи промислових мереж. Застосовувані мережні топології, фізичні інтерфейси і середовища передачі даних. Загальна характеристика методів доступу до шини. Протокол MODBUS. Шина CAN. Технології бездротового зв'язку в промисловій автоматизації.

Радіозв'язок. Використання стандартів GSM/GPRS/3G/4g/LTE. Вузькосмуговий сигнал. Широкозмуговий сигнал. Метод частотних стрибків FHSS. розширення спектра методом прямої послідовності DSSS. Класифікація бездротових мереж. Класифікації бездротових технологій. Стандарти бездротових мереж. Еволюція технологій стільникового зв'язку. FDMA, TDMA, CDMA. Технології 4G. Еволюція мереж до 5G. LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks). Основні особливості енергоефективної мережі LPWAN.

Модуль 2.

Змістовий модуль 2. Технології Інтернету речей та побудова «розумних» просторів.

Тема 8. Технології Інтернету речей. Історія виникнення IoT та сучасний стан. Що таке IoT? Принципи організації та функціонування розподіленої архітектури Інтернету речей. Сфери застосування IoT. Екосистема Інтернету речей. Архітектура IoT. Передача даних та протоколи Інтернету речей. Маршрутизація. Туманні і граничні обчислення, аналітика і машинне навчання. Безпека в IoT. The Industrial Internet of Things (IIoT). Сравнение IIoT, IoT та M2M. IoT з точки зору підприємства. Переваги IIoT. Створення IoT застосувань. Node.js та основи створення програм реального часу. Програмування сучасних вбудованих систем на базі мікрокомп'ютерів. Інтеграція багаторівневих систем автоматизації: OPC UA, Web socket, Web API, REST тощо.

Тема 9. Системи управління будівлями та системи розумного будинку. «Розумний» простір, цифрові двійники. «Розумні» будинки: стан, тенденції та перспективи. Об'єкти застосування. Building Management Systems. Smart Home -> Smart Building -> Smart Cities. AI&ML та IoT для Smart building. Концептуальна модель інтелектуальної платформи управління будівлями. Сучасний стан та тренди. Цифровий двійник будівлі. Smart Home. Сегменти ринку автоматизації. Автоматизація будівель. Автоматизація в домі. Майбутнє BMS.

Тема 10. Сучасні хмарні платформи та сервіси для вирішення завдань промислової автоматизації. Cloud computing. Хмарні платформи IoT: AWS IoT, Google Cloud IoT, MS Azure IoT Hub, IBM Watson IoT Platform. Хмарні платформи AI: Google Cloud AI, Azure AI, IBM Watson. Хмарні сервіси в Node-RED. Обробка даних Інтернету речей з допомогою хмарних сервісів.

Тема 11. Інтелектуальна обробка даних моніторингу. Машинне навчання. Методи машинного навчання. Застосування машинного навчання. Різноманіття архітектур нейромереж. Автономні роботи. Проблеми комп'ютерного зору. Розпізнавання обличчя та об'єктів.

Тема 12. Заключна лекція.

Перспективи розвитку технологій промислової автоматизації, вбудованих систем та Інтернету речей.

Модульний контроль

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	усього	у тому числі			
		л	п	лаб	с.р.
1	2	3	4	5	6
Модуль 1					
Змістовий модуль 1. Промислова автоматизація та вбудовані системи					
1. Вступ до навчальної дисципліни «Промислова автоматизація, вбудовані системи реального часу та Інтернету-речей»	6	4	-	-	2
2. Основні поняття автоматизації управління складними динамічними системами та технологічними процесами.	6	2	-	-	4
3. Обладнання та програмне забезпечення сучасних систем промислової автоматизації.	12	4	-	-	8
4. Апаратно-технічні засоби автоматизації управління польового рівня.	14	2		4	8
5. Програмувальні технічні засоби управління.	18	4		4	10
6. Програмування PLC. ПІД-регулювання.	12	2		2	8
7. Промислові мережі та технології зв'язку.	16	4		2	10
Модульний контроль	1	1	-	-	-
Разом за змістовним модулем 1	85	23		12	50
Усього годин	85	23	-	12	50
Модуль 2					
Змістовий модуль 2. Технології Інтернету речей та побудова «розумних» просторів					
8. Технології Інтернету речей.	28	2	-	6	20
9. Системи управління будівлями та системи розумного будинку.	14	2	-	2	10
10. Сучасні хмарні платформи та сервіси для вирішення завдань промислової автоматизації.	16	4	-	2	10
11. Інтелектуальна обробка даних моніторингу	4	2		2	
12. Заключна лекція.	2	2	-	-	-
Модульний контроль	1	1	-	-	-
Разом за змістовним модулем 2	65	13		12	40
Усього годин	65	13	-	12	40
Усього з дисципліни	150	36	-	24	90

5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
1	Не передбачено навчальним планом		
	Разом		

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
1	Не передбачено навчальним планом		
	Разом		

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Знайомство з мікрокомп'ютером Raspberry Pi. Основи роботи з Node-RED на Raspberry Pi для IoT	2
2	Створення та налагодження програм для мікрокомп'ютера Raspberry Pi у Node-RED. Управління цифровим введенням/виведенням через GPIO	2
3	Node-RED та його інтеграційні можливості. Протоколи IoT, MQTT, Modbus TCP. Використання Web API та Web-сокетів	2
4	Підключення датчиків до мікрокомп'ютеру Raspberry Pi та створення IoT-застосувань. Частина 1. Метеостанція	2
5	Підключення датчиків до мікрокомп'ютеру Raspberry Pi та створення IoT-застосувань. Частина 2. Підключення АЦП. Гіроскоп та акселерометр	2
6	Програмування промислових контролерів за допомогою мов стандарту IEC-61131. Використання мов стандарту IEC-61131 для програмування PLC – FBD, SFC, LD.	2
7	Використання мов стандарту IEC-61131 для програмування PLC в режимі ПІД-регулятора. Дослідження ПІД-регулятора	2
8	Розроблення SCADA-like інтерфейсу у Node-RED за допомогою SVG	2
9	IoT та AI&ML на робототехнічному макеті: розумний будинок	2
10	IoT та AI&ML на робототехнічному макеті: робот-павук	2
11	IoT та AI&ML на робототехнічному макеті: мобільний колісний робот	2
12	IoT та AI&ML на робототехнічному макеті: робот-маніпулятор з системою технічного зору	2
	Разом	24

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
1	Тема 1. Сучасні особливості та проблеми автоматизації виробництва	2	
2	Тема 2. Системна інтеграція проектів АСУ ТП	4	
3	Тема 3. Industry 4.0 vs Industry 5.0	8	
4	Тема 4. Виконавчі механізми. Класифікація та особливості управління	8	
5	Тема 5. Сучасні апаратно-технічні засоби автоматизації	10	
6	Тема 6. Сучасні технології бездротового зв'язку	10	
7	Тема 7. Сучасні ОСРЧ	10	
8	Тема 8. Хмарні платформи IoT	20	
9	Тема 9. Хмарні платформи AI	10	
10	Тема 10. MES та ERP-системи	8	
	Разом	90	

9. Індивідуальні завдання

Виконання розрахункової роботи на тему «Розробка програмно-технічного комплексу автоматизації». Метою роботи є виконання розробки апаратно-технічної (набір датчиків і виконавчих пристроїв, контролерні засоби) і/або програмної частини (хмарні сервіси і додатки) системи промислової автоматизації або Інтернету речей. Особливостями виконання роботи є наступне:

- в якості контролерного обладнання можна використовувати Arduino, Raspberry Pi, Beagle Bone Black і ін.) або готові платформи макетів, що надаються викладачем;
- програмна частина передбачає програмування контролерних засобів, хмарних сервісів і додатків для збору, зберігання та аналітичної обробки даних;
- можна використовувати різні IoT платформи: Node-RED, IBM Bluemix, ThingSpeak, ThingWorx, Google Cloud IoT, Microsoft Azure IoT та ін.;
- програмна частина повинна передбачати обмін даними з іншими системами або вузлами, варіанти: через послідовний інтерфейс від контролера за протоколом Modbus; передача даних в хмару використовуючи протоколи HTTP, MQTT або Modbus TCP тощо.

10. Методи навчання

Проведення лекцій, презентацій, лабораторних занять, індивідуальні консультації з питань нового матеріалу, самостійна робота здобувачів вищої освіти.

11. Методи контролю

Здача лабораторних робіт, модульний контроль, РР, іспит.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

Розподіл балів, які отримують здобувачів вищої освіти (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної Роботи	Бали за одне заняття	Кількість занять	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Виконання і захист лабораторних робіт	0...5	6	0...30
Модульний контроль	0...14	1	0...14
Змістовний модуль 2			
Виконання і захист лабораторних робіт	0...5	6	0...30
Виконання розрахункової роботи	0...12	1	0...12
Модульний контроль	0...14	1	0...14
Усього за семестр			0...100

З метою активізації аудиторної та самостійної роботи здобувачів вищої освіти розроблено презентації лекцій, а також набори тестів для організації електронного навчання та модульного контролю.

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови здобувача вищої освіти від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту. Під час складання семестрового іспиту студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з 2 теоретичних запитань та 1 практичного завдання. За повну правильну відповідь на два перших запитання здобувач вищої освіти отримує по 30 балів. За повну правильну відповідь на практичне завдання – 40 балів.

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

- принципи побудови, основні поняття і функції розподілених АСУ;
- технології Інтернету речей;
- основні поняття та складові Industry 4.0;
- мережі, інтерфейси, протоколи взаємодії в системах промислової автоматизації;
- принципи побудови систем реального часу за допомогою мікрокомп'ютерів та Node-RED.

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки:

- практично використовувати технології промислової автоматизації при створенні розподілених АСУ;
- застосовувати інструментарій хмарних платформ та сервісів при побудові АСУ;
- розробляти управляючі алгоритми та програми для контролерів;
- практично використовувати технології Industry 4.0, у тому числі IoT.

Критерії оцінювання роботи здобувачів протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи. Вміти самостійно формулювати основні вимоги та обмеження до досліджуваних об'єктів і процесів. Знати принципи побудови, основні поняття і функції розподілених АСУ. Знати існуючі підходи та сучасні технології створення розподілених автоматизованих систем управління технологічними процесами.

Добре (75-89). Мати достатній рівень знань з розподілених автоматизованих систем управління технологічними процесами та технологій Industry 4.0. Показати вміння виконувати та захищати всі лабораторні роботи в обумовлений викладачем строк, з обґрунтуванням рішень та заходів, які запропоновані у роботах. Виконати та захистити розрахункову роботу. Вміти детально пояснювати складові архітектури АСУ ТП, застосовувати інтерфейси та протоколи для взаємодії з комплексом апаратно-технічних засобів автоматизації, створювати системи за допомогою інструментарію Node-RED. Знати характеристики основних компонентів розподілених автоматизованих систем управління технологічними процесами та особливостей їх інтеграції.

Відмінно (90-100). Повно знати основний та додатковий матеріал. Детально знати усі теми дисципліни, знати інформаційні технології промислової автоматизації у рамках курсу. Вміти формувати завдання з проектування АСУ ТП та створювати їх у хмарних інструментах. Безпомилково виконувати та захищати всі лабораторні роботи, а також розрахункову роботу в обумовлений викладачем строк з докладним обґрунтуванням рішень та заходів, які запропоновано у роботах.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за національною шкалою	
	Іспит, диференційований залік, курсова робота	Залік
90-100	Відмінно	Зараховано
75-89	Добре	
60-74	Задовільно	
0-59	Незадовільно	Не зараховано

13. Методичне забезпечення

1. Навчально-методичне забезпечення дисципліни «Промислова автоматизація, вбудовані системи реального часу та Інтернету-речей».

14. Рекомендована література

Базова

1. Klein S., IoT Solutions in Microsoft's Azure IoT Suite: Data Acquisition and Analysis in the Real World. 2017, 301 p. // <https://www.pdfdrive.com/iot-solutions-in-microsofts-azure-iot-suite-data-acquisition-and-analysis-in-the-real-world-e168679337.html>
2. Tripathy B.K., Internet of things (IoT) : technologies, applications, challenges and solutions. Florida: CRC Press, 2018, 359 p. // <https://www.pdfdrive.com/internet-of-things-iot-technologies-applications-challenges-and-solutions-e158467863.html>
3. John C. Shovich, Raspberry Pi IoT Projects. 2016, 253 p. // <https://www.pdfdrive.com/raspberry-pi-iot-projects-e58854260.html>
4. Warren Gay, Custom Raspberry Pi Interfaces: Design and build hardware interfaces for the Raspberry Pi. 2017, 229 p. // <https://www.pdfdrive.com/custom-raspberry-pi-interfaces-design-and-build-hardware-interfaces-for-the-raspberry-pi-e58407319.html>
5. Stuart G McCrady, Designing SCADA application software: a practical approach. 2013, 246 p. // <https://www.pdfdrive.com/designing-scada-application-software-a-practical-approach-e185762263.html>

Допоміжна

1. Цирульник С. М. Проектування мікропроцесорних систем : навчальний посібник / С. М. Цирульник, Г. Л. Лисенко. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 201 с.
2. Трегуб В.Г. Основи комп'ютерно-інтегрованого керування / В.Г. Трегуб: навч. посіб. – К.: НУХТ, 2005. – 191 с.

3. How to use Raspberry Pi with the Internet of things / TechRadar [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.techradar.com/how-to/how-to-use-a-raspberry-pi-to-control-your-smarthome>
4. Raspberry Pi 3 Model B / Raspberry Pi Community. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b>
5. Hanes D. IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things. 1st ed. Cisco Press, 2017. 576 p.
6. Розробка SCADA-систем. Програмні аспекти / В. В. Кангин. – Lambert Academic Publishing, 2012. – 472 с.
7. IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems / Karl-Heinz John, Michael Tiegelkamp – NY.: Spriger, 2001. – 240 p.

15. Інформаційні ресурси

1. Industry 4.0 // <https://www.it.ua/ru/knowledge-base/technology-innovation/industry-4>
2. Асоціація Підприємств Промислової Автоматизації України // <https://appau.org.ua/>
3. Промисловий Інтернет Речей // <https://www.it.ua/ru/knowledge-base/technology-innovation/promyshlennyj-internet-veschej>
4. LoRa Alliance // <https://lora-alliance.org/>