

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК  
З ПІДГОТОВКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА**

для здобувачів вищої освіти денної і заочної форми навчання  
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»



УДК 519.685

Н15

***Рецензенти:***

Ю. Є. Хорошайло, професор, завідуючий кафедри проектування та експлуатації електронних апаратів, ХНУРЕ, кандидат технічних наук, доцент.

В. В. Косенко, помічник директора з наукової роботи Державного підприємства "Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", доктор технічних наук, професор.

Ю. В. Ромашов, доцент, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, доктор технічних наук.

*Рекомендовано Вченою радою*

*Харківського національного університету радіоелектроніки*

*(протокол №3/1 від 29.07.2022 р.)*

***Авторський колектив:***

Невлюдов І. Ш., Филипенко О. І., Токарева О. В., Новоселов С. П.,  
Сичова О. В.

**Навчальний посібник** з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра Н15 для здобувачів вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, О. І. Филипенко, О. В. Токарева, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2023. – 151 с.

**ISBN 978-617-8059-94-1**

**DOI: 10.30837/978-617-8059-94-1**

У навчальному посібнику подано загальні вимоги до організації підготовки і виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти денної і заочної форми навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», рекомендації щодо оформлення пояснювальної записки, а також стислий довідковий матеріал щодо змісту розрахункової частини роботи з прикладами.

Рекомендується здобувачам освіти першого (бакалаврського) рівня освіти денної і заочної форми навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

**УДК 519.685**

**ISBN 978-617-8059-94-1**

**DOI: 10.30837/978-617-8059-94-1**

© І. Ш. Невлюдов,  
О. І. Филипенко, О. В. Токарева,  
С. П. Новоселов, О. В. Сичова, 2023.

УДК 519.685

Н15

***Рецензенти:***

Ю. Є. Хорошайло, професор, завідувач кафедри проектування та експлуатації електронних апаратів, ХНУРЕ, кандидат технічних наук, доцент.

В. В. Косенко, помічник директора з наукової роботи Державного підприємства "Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", доктор технічних наук, професор.

Ю. В. Ромашов, доцент, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, доктор технічних наук.

*Рекомендовано Вченою радою*

*Харківського національного університету радіоелектроніки*

*(протокол №3/1 від 29.07.2022 р.)*

***Авторський колектив:***

Невлюдов І. Ш., Филипченко О. І., Токарева О. В., Новоселов С. П., Сичова О. В.

**Навчальний посібник** з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра Н15 для здобувачів вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, О. І. Филипченко, О. В. Токарева та ін. – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2023. – 151 с.

**ISBN 978-617-8059-94-1**

**DOI: 10.30837/978-617-8059-94-1**

У навчальному посібнику подано загальні вимоги до організації підготовки і виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти денної і заочної форми навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», рекомендації щодо оформлення пояснювальної записки, а також стислий довідковий матеріал щодо змісту розрахункової частини роботи з прикладами.

Рекомендується здобувачам освіти першого (бакалаврського) рівня освіти денної і заочної форми навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

**УДК 519.685**

**ISBN 978-617-8059-94-1**

**DOI: 10.30837/978-617-8059-94-1**

© І. Ш. Невлюдов,  
О. І. Филипченко, О. В. Токарева,  
С. П. Новоселов, О. В. Сичова, 2023.

## ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	5
Загальні положення.....	6
1 Методичні рекомендації до кваліфікаційної роботи бакалавра.....	8
1.1 Мета та задачі кваліфікаційної роботи бакалавра.....	8
1.2 Організація виконання кваліфікаційної роботи бакалавра.....	8
1.3 Захист кваліфікаційної роботи .....	14
1.4 Критерії оцінювання кваліфікаційної роботи .....	17
2 Вимоги до оформлення кваліфікаційної роботи.....	22
2.1 Вимоги до оформлення пояснювальної записки.....	22
2.1.1 Загальні вимоги.....	22
2.1.2 Формули та рівняння.....	24
2.1.3 Таблиці.....	26
2.1.4 Рисунки та графіки.....	27
2.1.5 Переліки.....	28
2.1.6 Посилання.....	29
2.1.7 Додатки.....	29
2.2 Вимоги щодо оформлення графічної частини кваліфікаційної роботи бакалавра.....	30
2.3 Вимоги до обсягу кваліфікаційної роботи бакалавра.....	32
3 Загальна структура пояснювальної записки кваліфікаційної роботи .....	33
4 Рекомендації щодо вирішення основних завдань кваліфікаційної роботи бакалаврів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» .....	37
4.1 Вибір теми кваліфікаційної роботи .....	37
4.2 Вибір об'єкту автоматизації.....	38
4.3 Аналіз сучасних модулів управління промисловим обладнанням.....	43
4.4 Аналіз способів побудови сучасних ПЛК.....	51
4.5 Розробка структурної схеми безпроводного модулю управління промисловим обладнанням.....	63
4.6 Вибір контролера управління промисловим обладнанням.....	65
4.7 Робота з Modbus та протоколом TCP.....	72
4.8 Розробка архітектури взаємодії модуля з ПЛК.....	76

4.9 Розробка структурної схеми модуля.....	77
4.10 Опис алгоритмів роботи модуля.....	79
4.11 Типові закони управління та регулятори.....	81
4.12 Синтез коригуючих пристроїв за логарифмічними частотними характеристиками.....	93
4.13 Синтез лінійної неперервної системи автоматичного управління...	101
4.14 Вибір електронних компонентів модуля та обґрунтування вибору..	121
4.15 Виконання електричної схеми підключення компонентів.....	125
4.16 Розрахунки надійності розробленого модуля.....	127
4.17 Зміст підрозділу з охорони праці.....	129
4.17.1 Виробнича санітарія в лабораторії.....	130
4.17.2 Пожежна безпека в приміщенні лабораторії.....	131
4.17.3 Охорона праці користувачів персонального комп'ютера.....	131
Перелік джерел посилання.....	134
Додаток А Зразок бланка завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра.....	138
Додаток Б Форма заяви щодо самостійності виконання письмової роботи..	140
Додаток В Форма експертного висновку результатів перевірки на унікальність тексту .....	141
Додаток Г Форма відгуку керівника роботи.....	142
Додаток Д Форма рецензії на роботу.....	143
Додаток Е Критерії оцінювання результатів виконання і захисту кваліфікаційної роботи .....	144
Додаток Ж Зразок бланка титульного аркуша пояснювальної записки кваліфікаційної роботи бакалавра.....	145
Додаток З Форма відомості кваліфікаційної роботи бакалавра .....	146
Додаток И Приклад оформлення реферату	147
Додаток К Приклади записів у переліку посилань згідно з ДСТУ 7.1:2006	148
Додаток Л Коди виробів і програмних документів .....	150

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

- АС – автоматизована система;
- АСУП – автоматизована система управління підприємством;
- АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом;
- ВНЗ – вищий навчальний заклад;
- ЕК – екзаменаційна комісія;
- ЗТО – засоби технологічного оснащення;
- КР – кваліфікаційна робота;
- НДР – науково-дослідна робота;
- ОП – охорона праці;
- ОС – операційна система;
- ПЗ – пояснювальна записка;
- ПЛК – програмований логічний контролер;
- ПК – персональний комп'ютер;
- САК – системи автоматичного керування;
- САПР – система автоматизованого проектування;
- ТЗ – технічне завдання;
- ТП – технологічний процес;
- ТУ – технічні умови.

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Метою атестації здобувачів вищої освіти, які закінчують підготовку за першим (бакалаврським) освітнім рівнем, є визначення фактичної відповідності якості їхньої підготовки вимогам до фахівців з вищою освітою згідно з освітньо-професійною програмою підготовки випускників. Атестація здобувачів вищої освіти здійснюється відповідно до Закону України «Про вищу освіту», «Положення про організацію освітнього процесу в Харківському національному університеті радіоелектроніки», «Положення про протидію академічному плагіату в Харківському національному університеті радіоелектроніки» та інших нормативних документів [1-4]. Строк проведення і тривалість проведення атестації випускників визначається графіком освітнього процесу закладу вищої освіти.

До атестації допускаються здобувачі вищої освіти, які в повному обсязі успішно виконали навчальний план підготовки фахівців першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

Захист кваліфікаційної роботи (КР) має показати рівень теоретичної та практичної підготовленості випускників, їх якостей щодо систематизації наукової інформації та аналізу актуальних проблем із спеціальності або освітньої програми.

Написання кваліфікаційної роботи бакалавра – це перший самостійний крок майбутнього фахівця, коли право остаточного вибору інженерно-технічних рішень і відповідальність за їх прийняття цілком належить його автору – випускнику. Доповідь за темою кваліфікаційної роботи і її захист, як одна із основних форм державної атестації здобувачів вищої освіти – важливі етапи навчання в університеті.

Головним завданням кваліфікаційної роботи є підготовка випускника до самостійної, творчої, інженерної, наукової роботи тощо у відповідній галузі на основі знань, отриманих в процесі навчання в університеті.

Згідно з освітньо-професійною програмою підготовки фахівців у галузі автоматизації та приладобудування, випускник спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» має бути готовий до розв'язання задач з автоматизації виробничих процесів, розроблення нових і вдосконалення існуючих систем автоматизації із застосуванням сучасних програмно-технічних комплексів, технічних засобів автоматизації

і інформаційних технологій, а також вміти виконувати комплексний аналіз об'єктів автоматизації, обґрунтовувати вибір технічних засобів автоматизації, проектувати системи управління сучасними виробництвами, розробляти програмне забезпечення, що орієнтоване на використання технології Інтернету речей та хмарних обчислень.

Варто ще раз підкреслити, що кваліфікаційна робота бакалавра є самостійною роботою здобувача, за всі прийняті в КР технічні і економічні рішення, а також правильність і обґрунтованість розрахунків і графічних робіт несе відповідальність сам здобувач – автор кваліфікаційної роботи.

За своїм змістом і характером кваліфікаційні роботи бакалаврів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» підрозділяються на проектні, програмні і з автоматизації процесів управління.

Даний навчальний посібник містить необхідну інформацію для виконання та захисту кваліфікаційної роботи бакалавра, встановлює загальні вимоги до організації і виконання кваліфікаційної роботи, змісту й обсягу кваліфікаційних робіт, порядку виконання та захисту робіт згідно з вимогами та рекомендаціями освітньо-професійної програми за спеціальністю.

Зміст навчального посібника розподілений на чотири основні частини. Перша частина присвячена питанням організації процесу підготовки та захисту кваліфікаційної роботи. У другій – подано загальні вимоги щодо оформлення пояснювальної записки КР згідно з ДСТУ 3008:2015 [5] та ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 [6]. У третій частині представлена загальна структура пояснювальної записки, її основні складові елементи. У четвертій частині подано можливі тематики кваліфікаційних робіт бакалаврів за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», подано стислий довідковий матеріал щодо змісту розрахункової частини роботи з прикладами.



# 1 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

## 1.1 Мета та задачі кваліфікаційної роботи бакалавра

Виконання, оформлення та захист кваліфікаційної роботи є завершальним етапом підготовки бакалавра спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Головною метою кваліфікаційної роботи є:

- систематизація, упорядкування, розширення та поглиблення теоретичних і практичних знань, набутих під час навчання;
- розвиток і закріплення розрахункових, експериментальних, дослідницьких навичок;
- можливість здобувача вищої освіти використовувати набуті під час навчання знання для вирішення конкретних науково-технічних задач у галузі автоматизації та приладобудування;
- розвиток уміння самостійної роботи з літературними джерелами;
- володіння методикою технічного пошуку, технічної творчості;
- володіння методикою досліджень та експериментів під час вирішення проблем і питань кваліфікаційної роботи.

Цього можна досягти шляхом розробки кваліфікаційної роботи під керівництвом викладача, базуючись на знаннях, вміннях і навичках, здобутих під час навчання за освітньою програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», практичного досвіду та поглибленого вивчення конкретної області автоматизації та приладобудування.

Під час підготовки та захисту кваліфікаційної роботи бакалавра виявляється освітньо-професійний рівень здобувача та здатність виконувати завдання на рівні інженерних посад у промислових, проектних і наукових організаціях, а також для продовження навчання з метою отримання кваліфікації другого (магістерського) рівня.

## 1.2 Організація виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

Процес виконання кваліфікаційної роботи складається з таких етапів:

- визначення теми кваліфікаційної роботи та формулювання завдання на її виконання;

– опрацювання задач кваліфікаційної роботи згідно з завданням та оформлення пояснювальної записки;

- подання роботи на нормоконтроль;
- проходження перевірки на плагіат;
- підготовка до захисту, відгук керівника та рецензування роботи;
- захист кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії (ЕК).

Кваліфікаційна робота виконується випускниками за тематикою випускової кафедри відповідно до предметної галузі спеціальності та освітньої програми.

Фахівців зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» готує кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ). Кафедра складає перелік тем кваліфікаційних робіт з урахуванням специфіки спеціальності та освітньої програми, вимог галузевих стандартів вищої освіти для першого (бакалаврського) рівня. Окремі теми кваліфікаційних робіт можуть бути запропоновані здобувачами вищої освіти з відповідним обґрунтуванням доцільності їх розробки.

Кваліфікаційні роботи можуть також виконуватися за реальними завданнями, отриманими від підприємств, що є потенційними роботодавцями. До складу кафедральних кваліфікаційних комісій для атестації здобувачів освітнього рівня бакалавр включаються представники компаній та підприємств.

Кафедра визначає порядок допуску до захисту кваліфікаційної роботи та приймає рішення про недопущення до атестації здобувачів вищої освіти, які не виконали програму виробничої (або передатестаційної) практики або здобувачів, які не виконали календарний план атестації і не надали у встановлений термін підготовлену до захисту кваліфікаційну роботу, і подає це рішення до деканату.

Практично робота над кваліфікаційною роботою починається в період виробничої та передатестаційної практики. Здобувач повинен вивчити питання, які безпосередньо пов'язані з темою кваліфікаційної роботи.

Відповідно до теми КР здобувачам вищої освіти рекомендується: ознайомитися з основними публікаціями, нормативними, довідковими матеріалами з питань теми кваліфікаційної роботи; вивчити існуючі подібні об'єкти, їхні позитивні і негативні сторони; зібрати необхідні вихідні дані для роботи; ознайомитись та вибрати методіку вирішення завдань; провести аналіз завдання на кваліфікаційну роботу та сформулювати мету і задачі КР.

Всі зібрані матеріали мають бути відповідним чином відображені у звітах з виробничої та передатестаційної практик. Заповнений щоденник з виробничої практики та оформлений звіт подається керівнику виробничої практики, а

щоденник і звіт з передатестаційної практики – відповідно керівнику передатестаційної практики у терміни, регламентовані графіком навчального процесу відповідної освітньої програми.

Завдання на кваліфікаційну роботу видається після затвердження наказу. Зразок бланку завдання подано у додатку А. Перед початком виконання КР здобувач вищої освіти за допомогою керівника розробляє календарний план роботи на весь період з зазначенням черговості та термінів виконання окремих етапів. Завдання, яке підписане керівником кваліфікаційної роботи, затверджується завідувачем кафедри. Здобувач отримує від керівника КР завдання та ставить свій підпис. Керівник КР при цьому заповнює графу дати видачі завдання.

Керівник КР протягом всього періоду виконання кваліфікаційної роботи надає здобувачу вищої освіти методичну допомогу, рекомендує необхідну технічну літературу, систематично консулює і контролює хід роботи. Але це не звільняє здобувача від повної відповідальності за обґрунтованість прийнятих ним рішень, дотримання вимог нормативних документів і виконання календарного плану роботи. Здобувач вищої освіти зобов'язаний у встановлені кафедрою терміни звітувати про виконане перед керівником і завідувачем кафедри, які визначають ступінь готовності. Терміни завершальних етапів подання кваліфікаційної роботи подані у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Терміни подання кваліфікаційних робіт

Етап	Строк, днів не пізніше до дня захисту
Подання КР на підпис керівнику	7
Подання КР на нормоконтроль	7
Подання КР на перевірку на плагіат	7
Подання КР на підпис завідувачеві кафедри	4
Подання КР на рецензію	3
Попередній захист КР	2
Подання КР з рецензією до ЕК	1

Здобувач вищої освіти, який не виконує план кваліфікаційної роботи або значно відстає в його виконанні, запрошується для пояснення цього на засідання кафедри, яка приймає відповідне рішення.

Закінчена кваліфікаційна робота бакалавра підписується здобувачем вищої освіти, далі надається керівнику для перевірки на відповідність завданню і вимогам. У разі необхідності керівник організує заслуховування здобувача вищої освіти про виконану роботу.

Для запобігання потрапляння в публічні бази даних кваліфікаційних робіт, що мають високий рівень плагіату, впроваджено систему виявлення академічного плагіату.

Академічна доброчесність – це сукупність етичних принципів та визначених законом правил, якими мають керуватися учасники освітнього процесу під час навчання, викладання та провадження наукової діяльності.

Плагіат – оприлюднення (опублікування), повністю або частково, чужого твору під іменем особи, яка не є автором цього твору. Плагіат академічний – плагіат в академічному середовищі.

Видами плагіату є:

- копіювання інформації іншого автора без оформлення цитування;
- повторне використання свого тексту як абсолютно нової роботи;
- парафразування або адаптація – переказ своїми словами тексту автора;
- компіляція – написання роботи на підставі чужих матеріалів без самостійного дослідження та опрацювання джерел.

Перевірку кваліфікаційних робіт здобувачів першого рівня освіти на плагіат здійснює експерт із числа досвідчених штатних працівників профілюючої кафедри.

Здобувачі вищої освіти заповнюють і підписують заяву за встановленою формою (додаток Б), якою підтверджується факт відсутності в письмовій роботі запозичень з друкованих та електронних джерел третіх осіб без відповідних посилань, та інформованість про можливі санкції у випадку виявлення плагіату. Відмова у написанні заяви означає недопуск письмової роботи до захисту. Файли кваліфікаційної роботи разом із заявою подаються здобувачем вищої освіти керівникові кваліфікаційної роботи не пізніше ніж за тиждень до дати попереднього захисту.

Керівник роботи надає файли з текстом пояснювальної записки кваліфікаційної роботи для перевірки відповідальній особі (експерту). Експерт протягом не більш ніж 3 робочих днів здійснює перевірку, формує експертний висновок (додаток В) та передає їх керівнику атестаційної роботи. Керівник кваліфікаційної роботи у відгуку разом з іншими пунктами (актуальність, якість, ступінь самостійності, наукове та практичне значення тощо) формулює

остаточний висновок щодо оригінальності роботи, враховуючи наступні критерії оцінювання рівня оригінальності тексту [3]:

- високий (наукові та науково-методичні роботи) – більше 75% оригінального тексту;
- прийнятний (кваліфікаційні роботи) – більше 50% оригінального тексту;
- неприйнятний (потребує доопрацювання) – менше 50% оригінального тексту.

Якщо рівень оригінальності кваліфікаційної роботи на думку керівника є недостатнім, робота повертається автору на доопрацювання. Негативний експертний висновок є підставою до не допуску роботи до захисту завідувачем кафедри.

Здобувачі освітнього ступеня бакалавр несуть відповідальність за порушення вимог подання своєї кваліфікаційної роботи для перевірки антиплагіатною системою, у порядку визначеному Законодавством України, зокрема ст. 177 Кримінального кодексу, ст. 431, 432 Цивільного кодексу України, а також «Положенням про протидію академічному плагіату в Харківському національному університеті радіоелектроніки».

Керівник несе відповідальність за перевірку роботи у встановлені строки, прийняття рішення про доопрацювання та повторну перевірку на плагіат, а також про допуск роботи до попереднього захисту. Екзаменаційна комісія, оцінюючи кваліфікаційну роботу випускника, обов'язково має брати до уваги рівень плагіату в роботі. Наявність плагіату є підставою для зниження оцінки або визнання захисту незадовільним.

Керівник складає відгук на КР здобувача, в якому має бути подана характеристика роботи випускника, зокрема:

- новизна розробки, актуальність і ступінь її складності;
- вміння здобувача вищої освіти працювати з науково-технічною і патентною літературою;
- самостійність роботи здобувача вищої освіти, виявлена ним ініціатива, вміння користуватися сучасними методами і засобами досліджень, використання здобувачем вищої освіти стандартів та інших нормативних документів;
- ставлення здобувача вищої освіти до роботи над проектом, вміння працювати систематично, його акуратність, грамотність;
- рівень оригінальності тексту кваліфікаційної роботи.

У кінці відгуку робиться висновок про підготовленість здобувача вищої освіти до самостійної інженерної діяльності і можливості подання кваліфікаційної роботи до захисту в ЕК. Керівник дає якісну, але не кількісну

оцінку роботі здобувача вищої освіти. Зразок форми відгуку на кваліфікаційну роботу бакалавра поданий у додатку Г.

Повністю оформлена і підписана керівником кваліфікаційна робота бакалавра, яка пройшла перевірку на нормоконтроль і плагіат, разом з відгуком подається завідувачу кафедри. Завідувач кафедри вирішує питання про допущення здобувача вищої освіти до захисту, здійснює про це відповідний запис на титульному аркуші пояснювальної записки.

Кваліфікаційна робота бакалавра, допущена кафедрою до захисту, направляється на рецензію. Рецензування кваліфікаційних робіт здійснюється науково-педагогічним працівником університету, який має науковий ступінь кандидата наук (доктора філософії) та/або доктора наук, або зовнішнім фахівцем, який має вищу освіту за відповідною спеціальністю. Склад рецензентів кваліфікаційних робіт визначається на засіданні випускової кафедри не пізніше ніж за два тижні до початку атестації випускників.

У рецензії мають бути відображені такі питання:

- відповідність кваліфікаційної роботи бакалавра, що рецензується, завданню і встановленим вимогам;
- актуальність теми КР бакалавра;
- оцінка відповідності завданню розділів і обсягу роботи;
- оцінка змісту матеріалу кваліфікаційної роботи бакалавра;
- обґрунтованість прийнятих у роботі наукових та інженерних рішень;
- доцільність науково-технічної літератури та вміння її цитувати;
- науково-технічний рівень та якість розрахунків, вирішення оптимізаційних задач;
- оцінка обґрунтованості наведеного комплексу конструкторської та технологічної документації і якість виконання креслень;
- оцінка правильності використання стандартів;
- обсяг і доцільність експериментальних досліджень, оцінка отриманих результатів;
- наявність зразків, макетів та інших результатів діяльності випускника та їхній рівень;
- можливість впровадження у виробництво або освітній процес результатів КР бакалавра в цілому або частково;
- оцінка стилю викладення матеріалу пояснювальної записки і відповідність оформлення вимогам стандартів;
- помилки та недоліки виконаної роботи.

У висновку рецензент вказує, чи відповідає кваліфікаційна робота бакалавра вимогам за даною спеціальністю та освітньою програмою та оцінює якість роботи за чотирибальною системою («відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно»). Зразок форми рецензії на КР бакалавра поданий у додатку Д.

Випускник має бути ознайомлений зі змістом рецензії не пізніше ніж за один день до її захисту для того, щоб він міг заздалегідь підготувати відповіді на зроблені рецензентом зауваження. Внесення змін в кваліфікаційну роботу після ознайомлення з рецензією забороняється. Рецензія, що містить аргументований критичний аналіз переваг і недоліків роботи, оголошується на засіданні ЕК під час обговорення результатів захисту.

Після отримання рецензії на кваліфікаційну роботу здобувач вищої освіти за рішенням кафедри проходить попередній захист КР перед комісією, склад якої визначається на засіданні кафедри і затверджується завідувачем кафедри.

Завершена кваліфікаційна робота з відгуком керівника і рецензією подається в екзаменаційну комісію.

### 1.3 Захист кваліфікаційної роботи

Захист кваліфікаційної роботи здобувачем відбувається на відкритому засіданні екзаменаційної комісії. До діяльності ЕК належить перевірка науково-теоретичної, навчальної та практичної підготовки майбутніх бакалаврів, вирішення питання про присвоєння їм відповідної кваліфікації та про видачу диплома бакалавра (з відзнакою/без відзнаки), розробка пропозицій про подальше вдосконалення бакалаврської підготовки на кафедрі. До складу ЕК входять викладачі факультету та працівники промисловості, голова призначається ректором ХНУРЕ.

Засідання ЕК проводяться у терміни, які визначаються навчальними планами, згідно з розкладом, що затверджується проректором або деканом факультету. Розклад роботи ЕК доводиться до загалу за місяць до початку засідань. Запис випускників на захист здійснює секретар ЕК після оголошення розкладу.

До початку захисту за кілька днів здобувач вищої освіти має залишити секретарю ЕК довідку з деканату факультету про повне виконання ним навчального плану та успішне складання всіх іспитів та заліків, випуску з усіма оцінками за період навчання з теоретичних дисциплін, курсових проектів, робіт та практики, відгук керівника кваліфікаційної роботи та залікову книжку. В день захисту здобувач вищої освіти подає до ЕК пояснювальну записку, кресленики та

презентацію. За бажанням здобувача вищої освіти можливо подати інші матеріали, які характеризують якість кваліфікаційної роботи: макет, зразки конструкцій, фотографії, авторські свідоцтва, статті, тези доповідей тощо.

Захист комплексної кваліфікаційної роботи, як правило, проводиться на одному засіданні екзаменаційної комісії, причому здобувачу, який захищається першим, доручається доповісти як про загальну частину роботи, так і про індивідуальну частину завдання. Усі випускники, які виконували комплексну КР, повинні бути повною мірою обізнані із загальною частиною роботи і готові до запитань членів екзаменаційної комісії не тільки з індивідуальної, а й із загальної частини роботи.

Захист КР відбувається на відкритому засіданні ЕК за участі не менш трьох її членів, а також за обов'язкової присутності голови комісії. Тривалість засідання ЕК не має перевищувати шести академічних годин на день. Тривалість захисту однієї КР не має перевищувати 20 хв.

На засіданні ЕК оголошується назва КР, прізвище, ім'я і по батькові її автора, надається інформація про наявність необхідних у справі документів і стисла характеристика студента (його успішність, наявність публікацій і виступів за темою роботи на засіданнях наукових конференцій, семінарів, гуртків тощо). Далі випускнику надається до 10 хвилин для доповіді.

Доповідь здобувач викладає у довільній формі про сутність роботи, основні технічні, наукові рішення, отримані результати (при цьому можуть використовуватися різні форми візуалізації доповіді: обов'язковий графічний матеріал КР, визначений завданням, слайди, мультимедійні проектори тощо). У своєму виступі він має зосередити основну увагу на головних підсумках роботи, що ним особисто розроблені. За наявності здобувач може провести демонстрацію експерименту, макетів, зразків тощо (демонстрація проводиться безпосередньо на засіданні екзаменаційної комісії). Зміст доповіді, характер її виконання і впевненість під час відповідей на запитання значною мірою визначають оцінку роботи.

Після закінчення доповіді починається дискусія. Члени екзаменаційної комісії й особи, запрошені на захист, в усній формі можуть ставити будь-які запитання за матеріалами, поданими до захисту. Відповідаючи на запитання, здобувач вищої освіти має освітлювати тільки суть справи, виявляти скромність в оцінках своїх результатів і тактовність до осіб, що ставлять питання.

Після того, як вичерпані всі питання, голова надає слово керівникові студента. У своєму виступі керівник розкриває ставлення студента до роботи, характеризує його особисті якості як майбутнього фахівця. За відсутності на



засіданні екзаменаційної комісії керівника голова зачитує його письмовий відгук про роботу.

Потім заслуховується висновок рецензента щодо поданої до захисту роботи. У ньому має бути розкрита актуальність теми, виконаний аналіз її структури, підтверджена обґрунтованість висновків і рекомендацій, зазначені недоліки роботи. За відсутності рецензента на захисті рецензія зачитується головою ЕК.

Далі голова ЕК надає слово всім охочим виступити за темою і змістом розглянутої роботи. На закінчення слово надається студентові для відповіді на висловлені зауваження і побажання.

Після того, як дискусію закінчено, за бажанням студента йому може бути надане заключне слово. На цьому основна частина процедури захисту кваліфікаційної роботи вважається завершеною.

Підсумки захисту підводяться на закритому засіданні членів екзаменаційної комісії. У процесі обговорення результатів роботи докладному аналізу мають піддаватися вірогідність й обґрунтованість усіх положень, висновків і рекомендацій, що містяться в роботі. Для вирішення суперечливих питань на обговорення запрошується керівник кваліфікаційної роботи, завідувач кафедри, за профілем якої захищається кваліфікаційна робота.

Рішення щодо оцінки за захист кваліфікаційної роботи стосовно кожного випускника приймається відкритим голосуванням лише членами цієї ЕК звичайною більшістю голосів. За однакової кількості голосів, що визначають різні оцінки, голос голови ЕК є ухвальним.

Підсумки захисту й оцінка кваліфікаційної роботи оголошуються головою екзаменаційної комісії після обговорення оцінок на закритому засіданні комісії. Повторний захист кваліфікаційної роботи з метою підвищення оцінки не дозволяється.

Випускник, який отримав оцінку «незадовільно» під час захисту кваліфікаційної роботи, після завершення атестації відраховується з Університету як такий, що виконав навчальний план, але не пройшов атестації. При цьому йому видається академічна довідка. ЕК встановлює, чи може здобувач подати на повторний захист ту саму роботу з доопрацюванням, чи він зобов'язаний опрацювати нову тему.

У разі, якщо випускник не з'явився на засідання ЕК для захисту кваліфікаційної роботи, то у протоколі комісії відзначається, що він є не атестованим у зв'язку з неявкою на засідання ЕК. Випускники, які не атестовані у затвердженій для них строк або не захистили кваліфікаційну роботу, мають

право на повторну атестацію в університеті упродовж трьох років після відрахування з університету.

Повторна атестація проводиться лише з тих форм атестації, з яких раніше були отримані незадовільні оцінки, і в обсязі тих навчальних програм, за якими навчався випускник. У випадках повторного незадовільного захисту кваліфікаційної роботи зазначені особи втретє до атестації не допускаються.

У разі неприбуття випускника на захист кваліфікаційної роботи з поважної причини (хвороба, сімейні обставини тощо), підтвердженої документально, голова ЕК за клопотанням ректора може визначити окремий порядок та час захисту кваліфікаційної роботи для цього випускника в межах строку повноважень ЕК.

Випускнику, який склав атестацію, рішенням ЕК присвоюється відповідний освітній рівень і на підставі рішення ЕК видається диплом. Результати захисту кваліфікаційних робіт оформлюються протоколом, який складається на кожного випускника окремо.

Матеріали КР, за якими прийнято позитивне рішення екзаменаційною комісією, здаються в архів університету, де зберігаються у встановленому порядку. За необхідності передачі матеріалів роботи промисловому підприємству з метою впровадження отриманих результатів у виробництво з них знімається копія. Електронні копії робіт передаються до бібліотеки ХНУРЕ, а також можуть зберігатися в базі даних випускаючої кафедри і використовуватися в навчальному процесі. Кращі кваліфікаційні роботи кафедра рекомендує на університетські (міські, обласні) конкурси.

#### 1.4 Критерії оцінювання кваліфікаційної роботи

Під час атестації і визначенні оцінки випускника враховуються:

- рівень його фахової підготовки, уміння творчо застосовувати отримані знання для вирішення практичних завдань;
- якість доповіді (обґрунтованість, чіткість, стислість), здатність випускника упевнено та правильно відповідати на теоретичні питання і обґрунтовувати практичні дії, логічно будувати свою доповідь (виступ), аргументовано відстоювати власну точку зору.

Результати захисту кваліфікаційної роботи визначаються оцінками за стобальною шкалою. Під час оцінювання якості виконання здобувачем кваліфікаційної роботи застосовуються критерії, подані у додатку Е.

Для отримання відповідної оцінки за кваліфікаційну роботу бакалавра необхідно досягти виконання наступних умов.

**Відмінно (90-100 балів):** Кваліфікаційна робота бакалавра виконана вчасно, самостійно, забезпечує повне розкриття теми. Правильно визначено предмет, об'єкт дослідження. Мета та завдання чітко окреслені та реалізовані у дослідженні. Автор використовує сучасні аналітичні та методологічні інструментарії. Робота містить елементи новизни та характеризується високою якістю і глибиною теоретико-методологічного аналізу, критичного огляду літературних джерел, наявністю наукової проблематики. Узагальнення і висновки базуються на якісно опрацьованій статистичній інформаційній базі, що дозволяє чітко визначити авторську позицію.

Подані рекомендації автора мають практичну цінність, містять розрахунки показників економічної ефективності. У роботі розроблені суттєві аспекти впровадження рекомендацій.

**Для проектного варіанту КР:**

– реалізована власна концепція пристрою за розробленою власноруч структурною схемою (що є не типовою, а розробленою для рішення конкретної задачі);

– програмний код створений здобувачем власноруч з використанням існуючих бібліотек;

– власноруч реалізовано інтерфейс керування та конфігурування параметрів роботи пристрою;

– реалізовано продуманий інтерфейс користувача з урахуванням сучасних вимог щодо подібних рішень.

**Для програмного варіанту КР:**

– наявність розвинутого інтерфейсу користувача;

– наявність інструментів редагування параметрів роботи програмного засобу (меню конфігурації);

– реалізована можливість формування звітів у вигляді форм на екрані;

– розроблена структура бази даних;

– реалізована архітектура MVC;

– реалізована можливість формування звітів у вигляді друкованих форм, що реалізовано власноруч, а не вбудованою можливістю, наприклад, в програмі AdobeReader.

**Для КР з автоматизації процесів управління:**

– побудовано функціональну схему лінійної неперервної системи автоматичного управління (САУ);

- визначено повний перелік конструктивних і електричних властивостей об'єкту або системи, що підлягають автоматичному контролю;
- обчислені передавальні функції всіх елементів системи і побудовано структурну схему нескорегованої системи;
- визначені передавальні функції розімкненої й замкненої системи регулювання, а також їхні характеристичні поліноми;
- проведена оцінка стійкості розімкненої системи та замкненої системи за допомогою декількох критеріїв, визначені запаси стійкості за амплітудою і фазою;
- побудовано ЛАЧХ і ЛФЧХ вихідної розімкненої системи, ЛАЧХ коригуючої ланки, визначено її передавальну функцію;
- побудовано структурну схему системи з коригуючою ланкою і розраховано перехідну характеристику, проведено моделювання САУ;
- проведено критичний аналіз отриманих результатів і оцінку якості управління в скорегованій системі.

Відгук і рецензія позитивні. Доповідь аргументована, проілюстрована бездоганно оформленими наочними матеріалами, свідчить про формулювання власної думки студента щодо предмета дослідження та є логічною, повною. Відповіді на питання правильні та стислі.

**Добре (75-89 балів):** Кваліфікаційна робота виконана вчасно, теоретичні узагальнення та висновки аналітичної частини в основному правильні. Проте існують несуттєві недоліки у виявленні логічності зв'язку заходів, що пропонуються для вирішення проблем за допомогою проведеного аналізу статистичних та фактичних матеріалів, обґрунтування та розрахунків ефективності запропонованих рішень, що впливає на глибину особистого аналізу студентом фактичної інформації. Застосування сучасного аналітичного інструментарію обмежено. Подані у роботі авторські пропозиції повною мірою не містять аналітичного обґрунтування економічної доцільності їх реалізації.

**Для проектного варіанту КР:**

- реалізована типова концепція засобу автоматизації для рішення поставленої задачі;
- програмний код створений здобувачем власноруч з використанням існуючих бібліотек;
- реалізовано простий інтерфейс користувача для управління автоматизованим пристроєм.

**Для програмного варіанту КР:**

- наявність розвинутого меню користувача (категорії, підкатегорії);

- реалізація перевірки правильності вводу даних в екранні форми;
- реалізована клієнт серверна архітектура;
- розроблена структура бази даних.

**Для КР з автоматизації процесів управління:**

- побудовано функціональну схему лінійної неперервної системи автоматичного управління (САУ);
  - визначено достатній перелік конструктивних і електричних властивостей об'єкту або системи, що підлягають автоматичному контролю;
  - передавальні функції елементів системи не достатньо обґрунтовані, побудовано структурну схему нескорегованої системи;
  - визначені передавальні функції розімкненої й замкненої системи регулювання, а також їхні характеристичні поліноми;
  - проведена оцінка стійкості розімкненої системи та замкненої системи за одним критерієм, визначені запаси стійкості за амплітудою і фазою;
  - побудовано ЛАЧХ і ЛФЧХ вихідної розімкненої системи, ЛАЧХ коригуючої ланки, визначено її передавальну функцію;
  - побудовано структурну схему системи з коригуючою ланкою і розраховано перехідну характеристику, проведено моделювання САУ;
  - наявний аналіз отриманих результатів.

Відгук і рецензія позитивні, але мають окремі зауваження до роботи. Доповідь насичена фактичною інформацією, що відображає відповідні результати проведеного дослідження. Відповіді на питання правильні, але не завжди повні чи конкретні.

**Задовільно (60-74 бали):** Тема роботи в основному розкрита, але мають місце недоліки змістового характеру. Теоретико-аналітична частина та пропозиції обґрунтовано непереконливо, відсутні розрахунки, що дозволяють аргументувати зроблені авторські узагальнення та висновки. Є зауваження щодо логічності та послідовності викладеного матеріалу, який має переважно описовий характер. Робота недбало оформлена.

**Для проектного варіанту КР:**

- програмний код створений з прикладів в мережі Internet;
- здобувач зібрав пристрій з готових модулів та поєднав їх провідниками.

**Для програмного варіанту КР:**

- реалізовані базові функції обчислення завдання;
- дані для розрахунку вводяться в відповідні поля на екрані, але не мають функцій перевірки правильності вводу даних;

– коефіцієнти розрахунку задані в тілі програми та не змінюються в процесі користування програмним засобом (тільки за допомогою перекомпіляції вихідного коду).

**Для КР з автоматизації процесів управління:**

– функціональна схема лінійної неперервної системи автоматичного управління (САУ) побудована з помилками;

– перелік конструктивних і електричних властивостей об'єкту або системи, що підлягають автоматичному контролю, представлений не в повному обсязі або зовсім відсутній;

– передавальні функції елементів системи підібрані з помилками, структурна схема має недоліки;

– проведена оцінка стійкості розімкненої системи та замкненої системи за одним критерієм, запаси стійкості за амплітудою і фазою визначені з помилками;

– побудовані ЛАЧХ і ЛФЧХ вихідної розімкненої системи мають похибки;

– побудовано структурну схему системи з коригуючою ланкою; розрахована перехідна характеристика, проведено моделювання САУ;

– аналіз отриманих результатів відсутній.

Доповідь прочитана за текстом, студент не володіє окремими питаннями теми, не всі відповіді на запитання правильні або повні. Наочні матеріали не повною мірою відображають зміст виконаної роботи.

**Незадовільно (0-59 балів):** Відсутня логіка у побудові структури дослідження. У роботі відсутнє розуміння мети, завдань, предмета дослідження. Назви окремих розділів не відповідають їх змісту. Теоретичний аналіз та визначення стану процесів, що є предметом розгляду, мають компіляційний характер, відсутні посилання на використані літературні джерела. Відсутні самостійність суджень у запропонованих рекомендаціях і пропозиції. Поданий статистичний матеріал є застарілим. Оформлення роботи має суттєві недоліки.

Доповідь не відображає зміст виконаної роботи, більшість відповідей на питання неправильні, здобувач не володіє предметом дослідження. Наочні матеріали до захисту роботи відсутні.

**Робота до захисту не допускається:** роботу подано з порушенням строків, установлених регламентом. Відгук наукового керівника негативний. Тему роботи вчасно не було затверджено наказом по університету. Студент не володіє поданим матеріалом, не орієнтується у предметі дослідження. Порушена логіка поданого матеріалу. Назви розділів не відповідають змісту. Змістове наповнення розділів не пов'язано між собою. Оформлення роботи не відповідає вимогам.

## 2 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

### 2.1 Вимоги до оформлення пояснювальної записки

Робота має бути оформлена згідно з вимогами нормативних документів Міністерства освіти і науки України, національних стандартів України і міждержавних комплексних систем стандартів.

#### 2.1.1 Загальні вимоги

Текст пояснювальної записки (ПЗ) набирається в редакторі Microsoft Word шрифтом Times New Roman чорного кольору прямого накреслення через півтора міжрядкові інтервали кеглем 14 та роздруковується в одному примірнику одностороннім друком на аркушах формату А4 (210 x 297мм). Рекомендовано на сторінках КР використовувати поля такої ширини: верхнє і нижнє – не менше ніж 20 мм, лїве – не менше ніж 25 мм, праве – не менше ніж 10 мм. Абзацний відступ для всього тексту ПЗ має бути однаковим і дорівнювати п'яти символам (15-17 мм).

Мова пояснювальної записки державна або іноземна (за бажанням здобувача і за узгодженням з кафедрою).

Заголовки структурних елементів КР та заголовки розділів слід друкувати з абзацного відступу великими літерами напівжирним шрифтом без крапки в кінці. Дозволено їх розміщувати посередині рядка.

Окремі частини пояснювальної записки нумерують арабськими цифрами. Розділи мають наскрізну нумерацію. Номер підрозділу складається з номера розділу та порядкового номера підрозділу, відокремлених крапкою (наприклад, 1.2 – другий підрозділ першого розділу). Номер пункту – з номера розділу, підрозділу та порядкового номера пункту, відокремлених крапками (наприклад, 1.2.5 – п'ятий пункт другого підрозділу першого розділу).

Структурні елементи «Титульний аркуш», «Завдання», «Реферат», «Зміст», «Вступ», «Висновки», «Перелік джерел посилань» не нумерують.

Переноси слів у заголовках розділів не дозволяються. Якщо слово у заголовку не може розміститися на одному рядку, то його слід перенести на наступний рядок. Переноси слів у заголовках підрозділів, пунктів або підпунктів дозволяються. Не дозволяється розміщувати назву розділу, підрозділу, а також пункту й підпункту на останньому рядку сторінки.

У текстовій частині пояснювальної записки не слід вживати розмовні звороти, техніцизми, професіоналізми, жаргонні слова та звороти; використовувати для позначення одного поняття різні терміни, близькі за своїм змістом, також іншомовні слова та терміни за наявності в українській мові рівнозначних слів і термінів; вживати скорочення слів і словосполучень, крім встановлених правилами орфографії та нормативними документами.

Скорочувати можна пояснювальні слова (та інше – та ін., дивися – див.). Скорочують назви великих чисел. При цьому скорочення, утворенні методом відсікання, потребують крапки в кінці, а утворені методом стягування – ні (тис., але млн, грн).

Прізвища, назви фірм, установ та організацій, інші власні назви в тексті наводять мовою оригіналу. Допускається такі власні назви наводити у перекладі, додаючи за першою згадкою оригінальну назву у дужках (наприклад, роботи Люїса (Lewis)).

Кількісні числівники рекомендується писати в цифровій формі без відмінкових закінчень. Цифрова форма не рекомендується для однозначних чисел (шість мікросхем, а не 6 мікросхем). Числа з позначенням одиниць фізичних величин, грошових та інших величин завжди пишуться цифрами.

Дозволяється скорочувати слова або словосполучення, що часто вживаються в тексті, за такою схемою. Слово або словосполучення при його першому вживанні в тексті слід писати повністю, а після нього поруч у дужках навести скорочений варіант, який і застосовують у подальшому тексті (наприклад, технологічний процес (ТП)).

У тексті, за винятком формул, таблиць і рисунків, не слід використовувати математичний знак « $\rightarrow$ » перед значеннями величин. Замість математичного знака « $\rightarrow$ » слід вживати слово «мінус». Не слід вживати будь-які математичні знаки №; % тощо без цифр, а індекси нормативних документів (ДСТУ, ГОСТ, ТУ, ISO) без реєстраційного номера.

У тексті слід використовувати стандартизовані одиниці фізичних величин, їхні позначення. Застосовувати в одному тексті різні системи фізичних величин та їх позначень не дозволяється. У позначеннях одиниць крапку як знак скорочення не ставлять (крім випадків скорочення слів, які входять до найменування одиниці, але самі не є найменуванням одиниць, наприклад, 760 мм рт. ст.). Позначення одиниць, назви яких походять від імен учених, пишуть з великої літери, а їх найменування – з малої (наприклад, кДж, але кілоджоуль). Не слід скорочувати позначення фізичних величин, якщо вони використовуються без цифр.



### 2.1.2 *Формули та рівняння*

Формули та рівняння розташовують безпосередньо після посилання на них у тексті. Формули виділяють в окремі рядки і розташовують посередині сторінки. Вище і нижче кожної формули або рівняння слід залишати не менше одного вільного рядка.

Нескладні нумеровані формули розташовують безпосередньо в тексті. Нумерують тільки ті формули та рівняння, на які є посилання в тексті. Нумерувати слід арабськими цифрами в круглих дужках у крайньому правому положенні на рядку. Їх номер складається з номера розділу та порядкового номера формули або рівняння, відокремлених крапкою наприклад, формула (1.3) – третя формула, яка належить до першого розділу.

Номер, який не вміщується у рядку з формулою, переносять у рядок нижче формули. Номер формули-дробу подають на рівні основної горизонтальної риски. Номер групи формул, розміщених на окремих рядках і об'єднаних фігурною дужкою (парантезом), ставиться справа від вістря парантеза, яке знаходиться в середині групи формул і звернене в сторону номера.

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, що входять до формули чи рівняння, якщо вони не пояснені раніше у тексті, слід наводити безпосередньо під формулою у тій послідовності, в якій вони наведені у формулі чи рівнянні.

Після написання формули ставиться кома і з нового рядка даються пояснення до кожного символу та числового коефіцієнта. Пояснення позначок слід подавати без абзацного відступу з нового рядка, починаючи зі слова «де» без двокрапки. Позначки, яким встановлюють визначення чи пояснення, рекомендовано вирівнювати у вертикальному напрямку.

Обов'язковим є пояснення позначки одиниці виміру відповідної фізичної величини. Між останньою цифрою та одиницею виміру залишають проміжок (крім позначення одиниць плоского кута – кутових градусів, кутових мінут і секунд, які пишуть безпосередньо біля числа вгорі). У формулах і/або рівняннях верхні та нижні індекси, а також показники степені, в усьому тексті мають бути однакового розміру, але меншими за літеру чи символ, до якого вони відносяться.

#### *Приклад*

Напруження в стержні розраховується за формулою:

$$\sigma = \frac{S_i}{\varphi \cdot F}, \quad (1.1)$$

де  $S_i$  – розрахункове зусилля в  $i$ -му стержні,  $S_i = 54 \cdot 10^3$  Н;

$\varphi$  – коефіцієнт зменшення допустимих напружень під час роботи стержня в умовах поздовжнього згину,  $\varphi = 0,89$ ;

$F$  – площа поперечного перетину стержня,  $F = 3,87 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>.

$$\sigma = \frac{54000}{0,89 \cdot 3,87 \cdot 10^{-4}} \approx 156,78 \cdot 10^6 \text{ (Па)}.$$

Якщо під час вирішення формули слід розв'язати одну або декілька проміжних формул, то послідовність дій така:

- записують основну формулу та перелічують символи, які входять до неї;
- з нового рядка записують зміст допоміжних формул, перелічують символи, які входять до них, та проводять розрахунки за допоміжними формулами;

- проводять розрахунки за основною формулою.

Переносити формули чи рівняння на наступний рядок, коли вони не вміщуються в одному, дозволяється тільки на знаках виконуваних операцій: рівності «=», плюс «+», мінус «-», множення «×». Перенесення на знаку ділення «:» слід уникати. Знак операції повторюється на початку наступного рядка. Номер формули при її перенесенні вміщують на рівні останнього рядка.

Загальне правило пунктуації в тексті з формулами таке: формула входить до речення як його рівноправний елемент. Тому в кінці формул і в тексті перед ними розділові знаки ставлять відповідно до правил пунктуації.

Двокрапку перед формулою ставлять лише у випадках, передбачених правилами пунктуації:

- у тексті перед формулою є узагальнююче слово;
- цього вимагає побудова тексту, що передує формулі.

Формули, що йдуть одна за одною і не відокремлені між собою текстом, слід відокремлювати комами або крапками з комою.

Знаки, що відокремлюють формули, об'єднані фігурною дужкою, ставлять всередині. Після громіздких математичних виразів (визначники, матриці) розділові знаки можна не ставити.

Приклади числових значень величин:

- числові значення величин з допусками наводять так:

$$(65 \pm 3) \% ; 80 \text{ мм} \pm 2 \text{ мм} \text{ або } (80 \pm 2) \text{ мм}$$

– діапазон чисел фізичних величин наводять, використовуючи прикметники «від» і «до»:

від 1 мм до 5 мм (а не від 1 до 5 мм)

– якщо треба зазначити два чи три виміри, їх подають так:

80 мм × 25 мм × 50 мм (а не 80 × 25 × 50 мм)

### 2.1.3 Таблиці

Таблицю розташовують безпосередньо після посилання на неї або на наступній сторінці. На всі таблиці мають бути посилання в тексті. Таблиці слід нумерувати арабськими цифрами наскрізною нумерацією, за винятком таблиць, що наводяться у додатку. Можлива нумерація таблиць у межах розділу. Тоді номер таблиці складається з номера розділу та порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою. Назву таблиці друкують з великої літери і розміщують над таблицею з абзацного відступу. Наприклад,

Таблиця 2.1 – Базові показники технологічності

Коефіцієнт	Позначення	$\varphi_i$
1. Використання мікросхем і мікроскладань у блоці	$K_{в.мс}$	1,000
2. Автоматизації та механізації монтажу	$K_{а.м}$	1,000
3. Механізації підготовки ЕРЕ	$K_{м.п.ере}$	0,750

Назва таблиці має відображати її зміст, бути конкретною та стислою. Якщо з тексту КР можна зрозуміти зміст таблиці, її назву можна не наводити. Якщо таблиця виходить за межі формату сторінки, її поділяють на частини і розміщують одну частину під іншою, або поруч, або переносять частину таблиці на наступну сторінку, повторюючи в кожній частині таблиці її головку та боковик. У разі переносу назву таблиці вказують тільки над першою частиною таблиці, а над іншими вказують «Продовження таблиці ...».

В процесі поділу таблиці на частини допускається її головку або боковик замінити відповідно номерами граф чи рядків. У цьому випадку номери граф чи рядків вказують арабськими цифрами у першій частині таблиці. Наступні частини таблиці починаються з нумерованого рядка або боковика. При цьому в першій частині таблиці гранична лінія знизу не проводиться.

У кінці заголовків і підзаголовків таблиць крапки не ставлять. Діагональний розподіл головки таблиць не дозволяється. Висота рядків таблиці має бути не менше 8 мм.

Окремі графи «№ з/п» та «Позначення одиниць фізичної величини» в таблицю не включають. За необхідності нумерації рядків їх порядкові номери вказують у графі перед найменуванням.

Заголовки граф таблиці починають з великої літери. Підзаголовки починають з малої літери, якщо вони складають одне речення з заголовком, або з великої літери, якщо вони мають самостійне значення. Заголовки і підзаголовки граф вказують в однині. У разі відсутності окремих даних у відповідній частині таблиці слід ставити риску.

Позначення одиниці фізичної величини, що є загальною для всіх даних у таблиці, слід вказувати після її назви. Позначення одиниці фізичної величини, що є загальною для всіх даних у графі або в рядку, вказувати після назви графі або рядка.

Цифри в графах таблиць слід розташовувати за класами чисел по всій графі одна понад одною. Числові величини в одній графі повинні мати однакову кількість десяткових знаків.

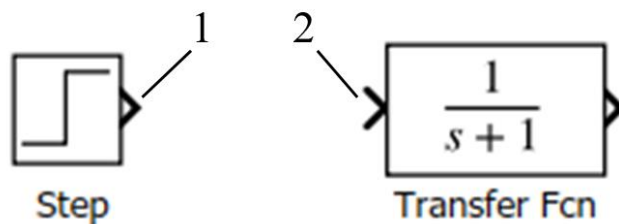
#### *2.1.4 Рисунки та графіки*

Ілюстрації слід нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу. Номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, відокремлених між собою крапкою.

Ілюстрації (рисунки, графіки, схеми, діаграми, фотознімки) слід розміщувати у тексті симетрично до ширини рядка безпосередньо після того, як вони згадуються вперше, або на наступній сторінці. На всі ілюстрації у тексті мають бути посилання. Кожна ілюстрація позначається словом «Рисунок», яке розташовують на наступному рядку по центру, поряд з ним ставиться номер і далі через тире з великої літери пишеться його назва без крапки у кінці. Якщо з тексту роботи зрозуміло зміст рисунка, його назву можна не наводити. Якщо рисунок, крім назви, має пояснення, то їх розміщують на наступному рядку після рисунку перед його назвою. Приклад оформлення рисунку та посилання на нього наведено нижче.

*Приклад.*

На рис. 1.2 показано з'єднання блоків відповідно до структури моделі.



1 – вихідний порт блоку; 2 – вхідний порт блоку

Рисунок 1.2 – З'єднання блоків

Якщо ілюстрація не вміщується на одному аркуші, її можна переносити на інші аркуші, розташовуючи назву ілюстрації на першому аркуші, а на інших аркушах на місці назви вказують: «Рисунок \_\_\_\_, аркуш \_\_\_\_».

Графіки та діаграми для зображення функціональних залежностей дозволяється виконувати з нанесенням шкал значень величин або без них. Шкали на координатній осі можуть бути нанесені координатною сіткою, розподільчими штрихами або їх комбінацією. Значення змінних величин можна відкладати на координатних осях у лінійному, нелінійному або в логарифмічному масштабах. Одиниці вимірювання на графіках і діаграмах слід наносити поруч з назвою змінної величини через кому. Числа біля шкал слід розміщувати поза полем графіка або діаграми.

Якщо на графіку зображено залежність декількох функцій від одного аргументу, то шкали функцій слід розташовувати паралельно координатній осі.

У разі розташування на одному графіку кількох функціональних залежностей дозволяється зображувати ці залежності лініями різних типів.

### 2.1.5 Переліки

Перед переліком слід ставити двокрапку, а позиції переліку починати з малої літери з абзацного відступу відносно попереднього рівня підпорядкованості. Якщо подають переліки одного рівня підпорядкованості, на які у звіті немає посилань, то перед кожним із переліків ставлять знак «тире», наприклад:

Оптимальні температурні діапазони:

- від плюс 1 до мінус 5° С;
- від мінус 10 до мінус 40° С.

Якщо у звіті є посилання на переліки, підпорядкованість позначають малими літерами української абетки, далі – арабськими цифрами, далі – через знаки «тире».

Після цифри або літери певної позиції переліку ставлять круглу дужку. Наприклад:

Оптимальні температурні діапазони:

а) від плюс 1 до мінус 5° С:

1) .....

2) .....

– .....

– .....

б) від мінус 10 до мінус 40° С.

Якщо наводять ряд або діапазон числових значень, які виражені однаковою одиницею фізичної величини, позначення цієї одиниці вказують за останнім числовим значенням ряду або діапазону, наприклад: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм.

### 2.1.6 Посилання

У разі посилання у тексті пояснювальної записки на розділи, підрозділи, пункти, підпункти, ілюстрації, таблиці, формули, рівняння слід писати так.

Для розділів, підрозділів, підпунктів, таблиць, ілюстрацій:

– «...розрахунок проведений у розділі 4, ....»;

– «...результат дивись у 2.1.»;

– «...за даними 1.3.4 ...»;

– «...який показано на рисунку 1.3»;

– «...згідно з таблицею 3.2,....».

Для математичних виразів, формул та рівнянь:

– «...за результатом (3.2) можна.....»;

– «...відповідно до формули (3.1) ...»;

– «...у рівняннях (1.23)-(1.25) ...»;

– «...за рівнянням (3.25) отримуємо.....».

### 2.1.7 Додатки

До додатків слід відносити матеріал, який з будь-яких причин не внесено до тексту (ілюстрації, таблиці, програми, зразки розрахунків). Кожен додаток має починатися з нової сторінки і мати заголовок, надрукований малими літерами з

першої великої симетрично відносно тексту сторінки. Посередині рядка над заголовком друкується слово «ДОДАТОК» і відповідна велика літера, що позначає додаток.

Додатки слід позначати послідовно великими літерами української абетки, за винятком Г, Є, І, Ї, Й, О, Ч, Ь, наприклад: ДОДАТОК А, ДОДАТОК Б тощо. Якщо додаток один, то він позначається як ДОДАТОК А.

Текст кожного додатка за необхідності може бути поділений на розділи і підрозділи, які нумерують у межах кожного додатка. У цьому разі перед кожним номером ставлять позначення додатка (літеру) і крапку, наприклад, А.2 – другий розділ додатка А; В.3.1 – перший підрозділ третього розділу додатка В.

Ілюстрації, таблиці і формули, які розміщені в додатках, нумерують у межах кожного додатка, наприклад: рисунок Д.1.2 – другий рисунок першого розділу додатка Д; формула (А.1) – перша формула додатка А; таблиця Е.2 – друга таблиця додатка Е.

Додатки повинні:

- мати спільну з рештою тексту документа наскрізну нумерацію сторінок;
- розташовуватися в порядку появи посилань на них у тексті документа.

## 2.2 Вимоги щодо оформлення графічної частини кваліфікаційної роботи бакалавра

Графічна частина кваліфікаційної роботи бакалавра виконується за правилами ЄСКД. Склад графічної частини визначається керівником КР.

Частина графічного матеріалу оформлюється у вигляді презентації. Електронна презентація – це електронний документ, який є набором слайдів, призначеним для демонстрації аудиторії. Метою будь-якої презентації є візуальне подання роботи, максимально зручне для сприйняття.

Презентація для захисту кваліфікаційної роботи бакалавра виконується в електронному вигляді на комп'ютері у програмі Microsoft PowerPoint та може містити від 12 до 20 слайдів.

До презентації можна винести:

- основні формули;
- рисунки, ескізи;
- графіки, діаграми;
- схеми алгоритмів;
- структурні, електричні принципи та інші типи схем;

- таблиці;
- результати розрахунків.

Задачі презентації:

- включати всю необхідну інформацію, достатню для сприйняття аудиторією без пояснень;
- звернути увагу на найбільш суттєві результати виконаної роботи;
- надавати інформацію аудиторії максимально комфортно.

Кожен слайд має містити інформацію, яка б у ході перегляду на екрані проектора легко читалася, тобто розмір шрифту має бути оптимальний. Обсяг інформації має бути також оптимальний. Неправильно буде представити одну фотографію або один графік на одному слайді, оптимально – чотири фотографії (графіка) на плакат. Але якщо графік або рисунок (схема) дуже складний, то допускається один рисунок на один слайд. Слайди мають бути пронумеровані, номери повинні легко читатися.

На кожному слайді має бути заголовок, розташований зверху. Заголовок зазвичай виділяється більшим шрифтом, ніж основний текст презентації та має бути коротким і лаконічним, оптимально 6-7 слів.

Презентація починається зі слайда, що містить тему КР, ім'я здобувача, шифр групи, в якій він навчається та дані про керівника (посада, кафедра, ПБ). Другий слайд містить актуальність кваліфікаційної роботи. На наступному слайді зазначають мету і завдання роботи. Потім подають основні розділи КР у тій послідовності, в якій вони викладені у пояснювальній записці. Наприкінці презентації наводять висновки. Останній слайд може містити за темою кваліфікаційної роботи перелік власних публікацій у наукових журналах, тез доповідей, авторських свідоцтв, патентів тощо.

До презентації виносять оригінальні (власні) результати розробок та досліджень – фотографії, рисунки, схеми, кресленики, формули, графіки, таблиці тощо. На слайдах бажано уникати подання інформації у вигляді суцільного тексту або, навпаки, занадто обмежено та стисло. Також не можна використовувати матеріал, запозичений (сканований) з літературних джерел.

Для комфортного сприйняття презентації необхідно дотримуватися ряду основних вимог:

- дизайн має бути простим і лаконічним (краще сприймається інформація на світлому однотонному фоні; фон, перевантажений рисунками або емблемами, відволікає увагу від основної інформації);
- кожен слайд повинен мати заголовок;



- слайди мають бути пронумеровані із зазначенням загальної кількості слайдів в презентації через похилу риску (1/23, 2/23 і тощо). Так ви дасте можливість аудиторії зрозуміти, скільки залишилось до кінця;
- завершувати презентацію слід коротким резюме (висновками), яке містить основні положення зробленої роботи, важливі дані, які озвучувалися в доповіді.

### 2.3 Вимоги до обсягу кваліфікаційної роботи бакалавра

Залежно від тематики та варіанта реалізації АР, вимоги до її обсягу та оформлення ілюстративного матеріалу можуть бути різними.

Рекомендований загальний обсяг пояснювальної записки 50-60 сторінок формату А4 в редакторі Microsoft Word (шрифт Times New Roman, розмір 14, інтервал 1,5).

Графічна частина має ілюструвати та доповнювати основні розділи КР. Конкретний перелік обов'язкових графічних матеріалів визначається керівником і вказується в завданні на кваліфікаційну роботу бакалавра.

Кількість креслеників, що розробляються одним студентом, не повинна бути меншою встановленої кількості графічного матеріалу. Загальний обсяг графічного матеріалу 3-6 аркушів. Форматів А3-А1 (за узгодженням з керівником роботи).

Зазначені обсяги в певних межах корегуються керівником бакалаврської кваліфікаційної роботи.

### 3 ЗАГАЛЬНА СТРУКТУРА ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Кваліфікаційна робота бакалавра має складатися з пояснювальної записки (текстової частини) та графічної частини. Матеріал пояснювальної записки та графічної частини – це результат самостійної творчої роботи студента з питань, сформульованих у завданні на КР бакалавра.

Пояснювальна записка складається з таких частин:

- титульний аркуш (додаток Ж);
- завдання на КР бакалавра (додаток А);
- реферат;
- перелік умовних позначень, скорочень, термінів;
- зміст;
- основна частина;
- висновки;
- перелік джерел посилань;
- додатки;
- відомість КР бакалавра (додаток З).

Порядок викладення матеріалів має відображати логічну послідовність досліджень та розрахунків за темою кваліфікаційної роботи. Зміст пояснювальної записки визначається завданням на КР.

Зміст розділів пояснювальних записок кваліфікаційних робіт, виконаних за комплексною тематикою, визначається їх призначенням в процесі вирішення як загальних, так і конкретних задач розробки. Причому в пояснювальних записках таких робіт, виконаних різними студентами, не допускається текстуального збігу в матеріалах загального призначення.

Основні вимоги щодо структурних елементів пояснювальної записки, а також деяких розділів, що входять до її змістовної частини наведено нижче.

*Титульний аркуш* та *завдання* оформляються на бланках, які видає кафедра (див. додатки Ж та А). Завдання є основним документом кваліфікаційної роботи. Воно оформляється керівником КР на спеціальному бланку (додаток А), в якому вказані: прізвище, ім'я та по батькові керівника кваліфікаційної роботи, тема КР, вихідні дані, перелік основних питань, які підлягають розробці.

У завданні наводиться також перелік графічного матеріалу, а також календарний план виконання КР.

Тема КР у завданні повинна коротко визначати об'єкт(и) або задачу розробки. Якщо кваліфікаційна робота комплексна, то тема записується таким чином: *КТ 1. Назва загальної теми кваліфікаційної роботи. ПТ 1. Назва теми, що виконується індивідуально кожним здобувачем.* (Комплексна тема (номер за порядком). Назва загальної теми КР. Підтема (номер за порядком). Назва індивідуальної теми).

*Реферат* – стислий виклад змісту пояснювальної записки, який містить основні фактичні відомості та висновки, необхідні для початкового ознайомлення з кваліфікаційною роботою бакалавра. Він має містити відомості щодо обсягу пояснювальної записки, кількості ілюстрацій, таблиць, використаних джерел. Має бути конкретно вказано: об'єкт дослідження, методи дослідження, мету та задачі роботи, використані технічні та програмні засоби, практичні рекомендації щодо використання отриманих результатів і перелік ключових слів.

Перелік ключових слів, які є визначальними для розкриття суті роботи, має містити 5-15 слів (словосполучень). Рекомендовано подавати їх перед текстом реферату великими літерами в рядок із прямим порядком слів у називному відмінку однини, розташованих за абеткою та розділених комами.

Реферат наводиться державною та однією іноземною мовами. Обсяг реферату – не більше однієї сторінки. Приклад оформлення реферату подано у додатку И.

*До змісту* бакалаврської роботи включають: перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів; вступ; послідовно перелічені назви всіх розділів, підрозділів, а також пунктів і підпунктів, якщо вони мають заголовки; висновки; перелік посилань; назви додатків та номери сторінок, на яких розміщується початок матеріалу. Розривати слова знаком переносу у змісті не рекомендовано.

Заголовки змісту мають точно повторювати заголовки в тексті. Скорочувати заголовки у змісті або наводити їх в іншій редакції порівняно із заголовком у тексті не можна. Усі заголовки у змісті починають з великої літери без крапки в кінці. Відповідний номер сторінки роботи наводять у крайньому правому положенні в рядку.

*У вступі* стисло викладають: оцінку сучасного стану проблеми; світові тенденції вирішення поставлених задач; актуальність теми бакалаврської роботи; мету бакалаврської роботи; задачі, які необхідно вирішити під час виконання роботи. Рекомендований обсяг вступу – 1...2 сторінки.

У висновках необхідно зазначити: результат і повноту виконання завдання на бакалаврську роботу, аналіз досягнутих кількісних та якісних показників; отримані наукові результати, можливість використання матеріалів кваліфікаційної роботи у галузі, а також рекомендації щодо використання результатів кваліфікаційної роботи у навчальному процесі в університеті та подальшої роботи в даному напрямку.

*Перелік джерел посилання*, на які посилаються в пояснювальній записці, має бути наведений у кінці тексту після висновків перед додатками, починаючи з нової сторінки. У переліку джерел посилання бібліографічні описи подають у порядку, за яким джерела вперше згадуються у тексті ПЗ. Порядкові номери бібліографічних описів у переліку джерел мають відповідати посиланням на них у тексті (номерні посилання).

Бібліографічні описи джерел у переліку наводять згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006.

Джерела, на які є посилання лише в додатку, наводять в окремому переліку, який розміщують у кінці цього додатка. Приклади оформлення бібліографічного опису посилань наведено у додатку К.

У *додатках* розміщують матеріали, які є необхідними для повноти розуміння бакалаврської роботи, але включення їх в основну частину роботи може змінити упорядковане та логічне подання роботи. Останнім додатком має бути відомість кваліфікаційної роботи, в яку вноситься перелік документів та виробів (макетів, дослідних зразків), що входять до складу виконаної роботи. Відомість кваліфікаційної роботи виконується на аркуші формату А4 за формою, наведеною у додатку З.

У відомості вказується умовне позначення документа, згідно з вимогами стандарту ЄСКД про позначення виробів та конструкторських документів.

Номенклатура конструкторських документів, яка використовується в роботі, містить коди документів згідно з діючими стандартами.

Позначення конструкторських документів має складатися з позначення виробу та коду документа (див. рис. 3.1).

Наприклад, загальне позначення пояснювальної записки може бути таким: ГЮИК.XXXXXX.013ПЗ, де символами X позначено номер за класифікаційною характеристикою згідно з темою кваліфікаційної роботи.

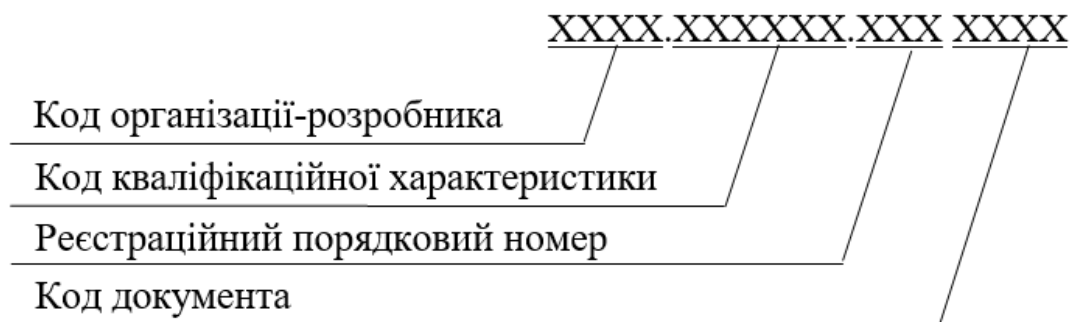


Рисунок 3.1 – Позначення конструкторських документів

Для ХНУРЕ встановлено код організації-розробника – ГЮИК. Код кваліфікаційної характеристики обирають згідно з класифікатором ЄСКД. Структура коду має вигляд, поданий на рис. 3.2.

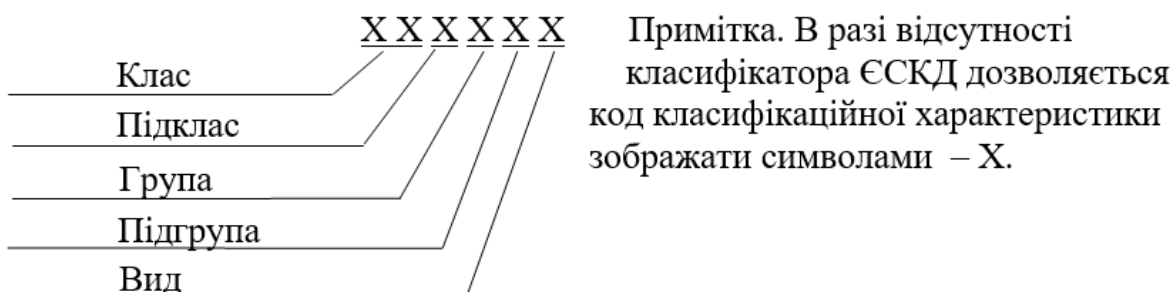


Рисунок 3.2 – Структура коду кваліфікаційної характеристики

Деякі коди виробів і програмних документів наведено у додатку Л.

Коди конструкторських документів згідно зі стандартами, які згадані вище, є такими:

- |                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| – схема електрична структурна      | – E1; |
| – схема електрична функціональна   | – E2; |
| – схема електрична принципова      | – E3; |
| – схема електрична розміщення      | – E7; |
| – відомість кваліфікаційної роботи | – ВД; |
| – кресленик загального вигляду     | – ОВ; |
| – складальний кресленик            | – СБ. |

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИРІШЕННЯ ОСНОВНИХ ЗАВДАНЬ  
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ  
151 «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ»  
ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-  
ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

#### 4.1 Вибір теми кваліфікаційної роботи

Теми кваліфікаційних робіт бакалавра розробляються випускаючою кафедрою, щорічно оновлюються і затверджуються на засіданні кафедри. При цьому враховуються вимоги стандарту вищої освіти і освітньо-професійної програми, тенденцій розвитку комп'ютерних технологій, напрям науково-дослідної роботи кафедри, реальних держбюджетних і госпдоговірних замовлень. Студент має право вибрати тему кваліфікаційної роботи із встановленого переліку або запропонувати свою тему за умови доцільності її розробки.

Тематика може передбачати автоматизацію виробничих процесів, розроблення нових і вдосконалення існуючих систем автоматизації із застосуванням сучасних програмно-технічних комплексів, технічних засобів автоматизації і інформаційних технологій; проектування систем управління сучасними виробництвами; розробку програмного забезпечення, що орієнтоване на використання технології Інтернету речей та хмарних обчислень.

Тематика КР має на меті розв'язання типових задач діяльності, призначених для максимально ефективного забезпечення створення систем автоматизації та використання комп'ютерно-інтегрованих технологій у галузі автоматизації та приладобудуванні:

- розробка автоматичної системи регулювання (АСР) технологічного процесу;
- розробка автоматичної системи контролю (АСК) технологічного процесу;
- розробка системи оптимального управління технологічним процесом;
- розробка систем автоматизації та (або) оптимізації технологічних комплексів (ТК);
- розробка мікропроцесорної системи (МПС);
- проектування програмно-технічного та інформаційного забезпечень автоматизованої системи управління (АСУ);
- проектування технічного та організаційного забезпечення АСУ;
- створення системи автоматизованого проектування (САПР) для проектування АСУ;

- проектування інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ).
- У кваліфікаційній роботі можуть бути розглянуті такі питання:
  - системи автоматизації або їх компоненти;
  - засоби технологічного оснащення автоматизації, контролю, діагностики сучасного виробництва;
  - математичне, програмне, інформаційне, технічне забезпечення процесів автоматизації;
  - методи, засоби проектування, виготовлення, налагодження, виробничих випробувань і наукових досліджень тощо.

#### 4.2 Вибір об'єкту автоматизації

Об'єкти автоматизації (об'єкти управління) – це окремі пристрої, верстати, агрегати, апарати, комплекси машин та апаратів, якими потрібно керувати. Вони дуже різноманітні за своїм призначенням, будовою і принципом дії.

Об'єкт автоматизації є основною складовою автоматичної системи, який визначає характер системи, тому його вивченню приділяється особлива увага. Складність об'єкта визначається головним чином ступенем його вивченості та різноманіттям виконуваних ним функцій. Результати досліджень об'єкта мають бути представлені у вигляді чітких рекомендацій щодо можливості повної або часткової автоматизації об'єкта або відсутності необхідних умов для автоматизації.

Проектуванню автоматичної системи управління має передувати вивчення об'єкта з метою встановлення зв'язків об'єкта. У загальному випадку ці зв'язки можна подати у вигляді чотирьох груп змінних (рис. 4.1).

Перша група – контрольовані впливи, що збурюють, сукупність яких утворює  $L$ -мірний вектор  $H = h_1, h_2, h_3, \dots, h_L$ . До них належать вимірювані змінні, що залежать від зовнішнього середовища, і фактори, які впливають на процес. Для контрольованих впливів, що збурюють, накладаються обмеження за умовами технології.

Показник технологічного процесу, яким необхідно керувати, називають керованою величиною (координатою), а ту фізичну величину, за допомогою якою керується показник технологічного процесу, називають керуючим впливом (вхідною величиною, координатою).

Друга група змінних – керуючі дії, сукупність яких утворює  $N$ -мірний вектор  $X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ , незалежні від зовнішнього середовища і мають найбільш істотний вплив на технологічний процес. За їх допомогою

цілеспрямовано змінюють перебіг процесу. Прикладом керуючих впливів є увімкнення і вимкнення електродвигунів, електричних нагрівачів, виконавчих механізмів, положення задатчиків регуляторів тощо.

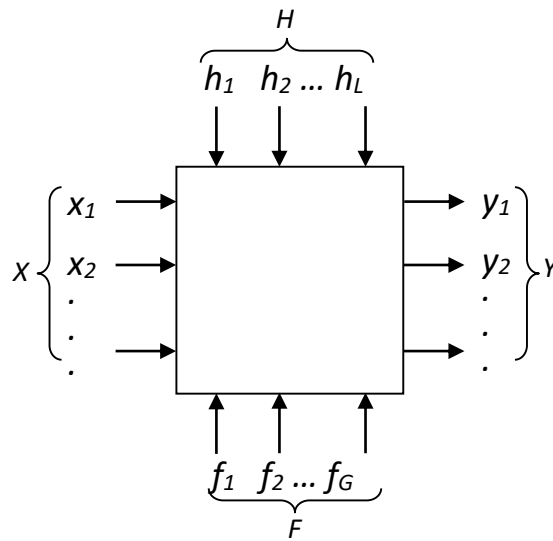


Рисунок 4.1 – Входи та виходи об’єкта автоматизації

Наступна група – вихідні змінні, сукупність яких утворює  $M$ -мірний вектор стану  $Y = y_1, y_2, y_3, \dots, y_M$ , є виходом об’єкта, що характеризує його стан і визначає якісні показники готового продукту.

І остання, четверта група – неконтрольовані впливи, що збурюють, сукупність яких утворює  $G$ -мірний вектор  $F = f_1, f_2, f_3, \dots, f_G$ . До них належать такі збурення, які не можуть бути виміряні з тих чи інших причин, наприклад, через відсутність датчиків.

Вивчення розглянутих зв’язків об’єкта, що підлягає автоматизації, може призвести до отримання двох діаметрально протилежних висновків: між вихідними та вхідними змінними об’єкта є строга математична залежність або між цими змінними відсутня залежність, яка може бути виражена достовірною математичною формулою.

У теорії і практиці автоматичного управління технологічними процесами накопичено достатній досвід опису стану об’єкта у таких ситуаціях. При цьому об’єкт розглядається як одна з ланок системи автоматичного управління. У випадках, коли відома математична залежність між вихідною змінною  $y$  і керуючим вхідним впливом  $x$  об’єкта, виділяють дві основні форми запису математичних описів – це статичні та динамічні характеристики об’єкта.

Статична характеристика математичної або графічної форми виражає залежність вихідних параметрів від вхідних. Бінарні зв’язки зазвичай мають чіткий математичний опис, наприклад, статична характеристика ступіні



деформації пружних елементів має вигляд  $h = k \cdot m$  (де  $m$  – маса матеріалу;  $k$  – коефіцієнт пропорційності, що залежить від властивостей матеріалу пружного елемента).

За наявності кількох змінних параметрів як статичні характеристики можна використовувати номограми.

Статична характеристика об'єкта визначає подальше формування цілей автоматизації. З боку практичної реалізації у ливарному виробництві ці цілі можуть бути зведені до трьох видів:

- стабілізації вихідних параметрів об'єкта;
- зміни вихідних параметрів за заданою програмою;
- зміни якості деяких вихідних параметрів при зміні умов протікання процесу.

Низка технологічних об'єктів однак не може бути описана математично через безліч взаємопов'язаних факторів, що впливають на перебіг процесу, наявності неконтрольованих факторів та недостатньої вивченості процесу. Такі об'єкти з точки зору автоматизації складні. Ступінь складності визначається кількістю входів та виходів об'єкта. Такі об'єктивні проблеми виникають під час вивчення процесів пов'язаних з масо- і теплопередачею. Тому їх автоматизація вимагає припущень чи умов, які мають сприяти головній меті автоматизації – підвищення ефективності управління шляхом максимального наближення технологічних режимів до оптимальних.

Для вивчення складних об'єктів використовують метод, який полягає в умовному поданні об'єкта у вигляді чорного ящика. Досліджують лише зовнішні зв'язки, внутрішню структуру системи не враховують, тобто вивчають, що робить об'єкт, а не його функціонування.

Поведінку об'єкта визначають за реакцією вихідних величин на зміну вхідних. Основним інструментом вивчення такого об'єкта є статистико-математичні методи. Методичне вивчення об'єкта здійснюється наступним чином: визначають головні параметри, встановлюють дискретний ряд змін основних параметрів, штучно змінюють вхідні параметри об'єкта в межах встановленого дискретного ряду, фіксують всі зміни виходів і статистично обробляють отримані результати.

Динамічні характеристики об'єкта автоматизації визначаються низкою його властивостей, деякі з них сприяють якісному процесу управління, інші перешкоджають йому.

З усіх властивостей об'єктів автоматизації, можна виділити основні: ємність, здатність до самовирівнювання і запізнювання.

Ємністю називають здатність об'єкта акумулювати робоче середовище та запасати його всередині об'єкта. Накопичення речовини або енергії можливе завдяки тому, що в кожному об'єкті є опір виходу.

Мірою ємності об'єкта служить коефіцієнт ємності  $C$ , що характеризує кількість речовини або енергії, яку потрібно підвести до об'єкта, щоб змінити керовану величину на одиницю прийнятої розмірності вимірювання:

$$C = \frac{\Delta Q}{dp_y/dt},$$

де  $\Delta Q$  – різниця між припливом та витратою речовини або енергії;

$p_y$  – керований параметр;

$t$  – час.

Розмірність коефіцієнта ємності може бути різною залежно від розмірності керованих параметрів.

Швидкість зміни керованого параметра зменшується зі збільшенням коефіцієнту ємності об'єкта. З цього випливає, що легше керувати об'єктами, які мають більші коефіцієнти ємності.

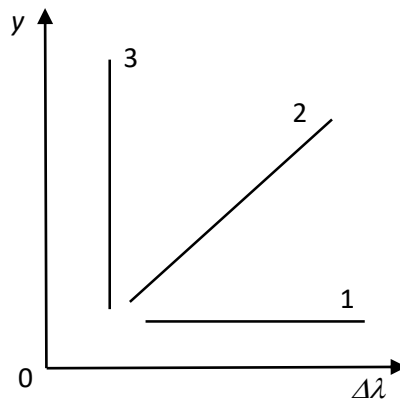
Самовирівнювання – це здатність об'єкта приходити після збурення в новий стан без втручання керуючого пристрою (регулятора). Об'єкти з самовирівнюванням називають статичними, а ті, що не мають цю властивість – нейтральними або астатичними. Самовирівнювання сприяє стабілізації керуючого параметра об'єкта та полегшує роботу керуючого пристрою.

Самовирівнювання об'єктів характеризується коефіцієнтом (ступенем) самовирівнювання, який має вигляд:

$$\rho = \frac{d(\Delta\lambda)}{dy}.$$

Залежно від коефіцієнта самовирівнювання статичні характеристики об'єкта набувають різного вигляду (рис. 4.2).

Залежність 1 характеризує об'єкт, у якого керована величина не змінюється при будь-яких збуреннях. Такий об'єкт не потребує керуючих пристроїв. Залежність 2 показує нормальне самовирівнювання об'єкта. Залежність 3 характеризує об'єкт з самовирівнюванням. Коефіцієнт  $\rho$  – змінна величина, яка підвищується зі збільшенням навантаження і в більшості випадків має додатне значення.



1 – ідеальне самовирівнювання; 2 – нормальне самовирівнювання;  
3 – відсутність самовирівнювання

Рисунок 4.2 – Залежність керованого параметра від навантаження (відносного збурення) за різних коефіцієнтів самовирівнювання

Запізнення – це час, що проходить між моментом порушення рівноваги та початком зміни керованої величини об’єкта. Воно обумовлюється наявністю опорів та інерційністю системи.

Розрізняють два види запізнення: чисте (або транспортне) та перехідне (або ємнісне), які у сумі становлять загальне запізнення в об’єкті.

Чисте запізнення отримало свою назву тому, що в об’єктах, де воно є, спостерігається зсув у часі реакції на виході об’єкта порівняно з моментом появи вхідного впливу без зміни величини та форми впливу. Мінімальне чисте запізнення має об’єкт, який працює при максимальному навантаженні або в якому сигнал поширюється з великою швидкістю.

Перехідне запізнення виникає у разі подолання потоком речовини чи енергії опорів між ємностями об’єкта. Воно визначається кількістю ємностей та величиною перехідних опорів.

Чисте та перехідне запізнення погіршують якість управління, тому необхідно прагнути зменшення їх величин. До заходів, що сприяють цьому, можна віднести розміщення вимірювальних та керуючих пристроїв у безпосередній близькості від об’єкта, застосування малоінерційних чутливих елементів, конструктивна раціоналізація самого об’єкта тощо.

Результати аналізу найбільш важливих характеристик і властивостей об’єктів автоматизації, а також методів їх вивчення дозволяють сформулювати низку вимог та умов, виконання яких забезпечує можливість успішної автоматизації.

Головні з них такі:

- математичний опис зв'язків об'єкта, представлений у вигляді статичних показників. Для складних об'єктів, які не можуть бути описані математично, це використання математико-статистичних, табличних, просторових та інших методів вивчення зв'язків об'єкта, що ґрунтуються на введенні деяких припущень;

- побудова динамічних характеристик об'єкта, таких як диференціальні рівняння або графіки з метою вивчення перехідних процесів в об'єкті. При цьому враховують всі основні властивості об'єкта (ємність, запізнювання, самовирівнювання);

- використання в об'єкті таких технічних засобів, які б забезпечували видачу інформації про зміну всіх параметрів об'єкта, що цікавлять, у вигляді уніфікованих сигналів, що вимірюються датчиками;

- використання виконавчих механізмів, які мають керовані приводи, для управління об'єктом;

- встановлення достовірно відомих меж зміни зовнішніх збурень об'єкта.

До підлеглих вимог можна віднести:

- визначення граничних умов автоматизації відповідно до завдань управління;

- встановлення обмежень вхідних величин та керуючих впливів;

- розрахунок критеріїв оптимальності (ефективності).

#### 4.3 Аналіз сучасних модулів управління промисловим обладнанням

Підвищення техніко-економічних показників автоматизованих сучасних систем управління промислової автоматики, таких як якість процесів управління, надійність, рівень безпеки експлуатації та ремонтоздатність, монтаж і запуск, покращення умов роботи операторів залежить від використаних технічних засобів автоматизації. Поєднанням технологій та виробництв із автоматизацією промислового обладнання на основі сучасних технічних засобів, модулів управління є одним із головних напрямків відновлення промислових підприємств.

Сучасна система управління промислового обладнання містить складні програмно-апаратні комплекси, які складаються із давачів, виконавчих механізмів, комунікаційних каналів, систем обробки інформації та програмних модулів.

В процесі побудови програмно-апаратного комплексу проектувальник має достатньо статичну інформацію о характеристиках кожного складового компоненту, тому має можливість оцінити ризики відмови той або іншої системи та спроектувати критично важливі компоненти, щоб застосування всієї цілої системи комплексу було надійним та ефективним. У той же час складні системи потребують розробки в своєму складі програмно-технічного комплексу модулю управління промислового обладнання, який і дозволить системі функціонувати як єдине ціле, організовуючи взаємодію її компонентів в залежності від умов навколишнього середовища та від ходу технологічних процесів.

Завдяки застосуванню нових модулів управління автоматизація промислового обладнання стає більш наглядною і прозорою, оскільки вона контролюється і керується за рахунок роботи усіх існуючих відділів модулю.

Модуль управління – це уніфікована функціональна частина автоматизованого комплексу, конструктивно оформлена як самостійно автономний виріб. У більшості випадках модулем управління є промислово-логічний контролер (ПЛК).

Модуль управління промисловим обладнанням має наступні функціональні особливості:

- збір вхідних даних від керованих об'єктів (власне дані об'єктів, їх характеристики, прийом обробки даних, отримані під час управління);
- обробка отриманих даних (виконання необхідних розрахунків, аналіз даних, перевірка умов тощо);
- збереження усіх даних під час проведення технологічного процесу;
- забезпечення управлінського впливу на об'єкти керування.
- діагностування стану технологічного обладнання та комунікацій.

Модуль може складатись із окремих елементів (компонентів). Модулі управління за характером виконання ними функцій і по складу пристроїв та елементів, які входять до них, можна розділити на три групи:

- виконавчі модулі управління рухом;
- вимірювально-інформаційні модулі;
- модулі систем управління різного рівня.

Виконавчі модулі за складом об'єднаних пристроїв і елементів можна розділити на:

- модулі руху;
- мехатронні модулі руху;
- інтелектуальні модулі руху.

Модуль руху – конструктивно і функціонально самостійний елемент, який включає в себе механічну (гідравлічну, пневматичну) частину, яку можна використовувати індивідуально та в різних комбінаціях із різними модулями управління.

Мехатронний модуль руху – конструктивно і функціонально самостійний пристрій, який включає в себе механічну, електротехнічну, електронну і інформаційну частини, які можна використовувати індивідуально та в різних комбінаціях із різними модулями управління.

В інтелектуальних мехатронних модулях руху додатково ще містяться мікропроцесорні обчислювальні пристрої і силові електронні перетворювачі, а також елементи, які забезпечують інтелектуальне управління.

Класифікація мехатронних модулів управління подано на рис. 4.3.

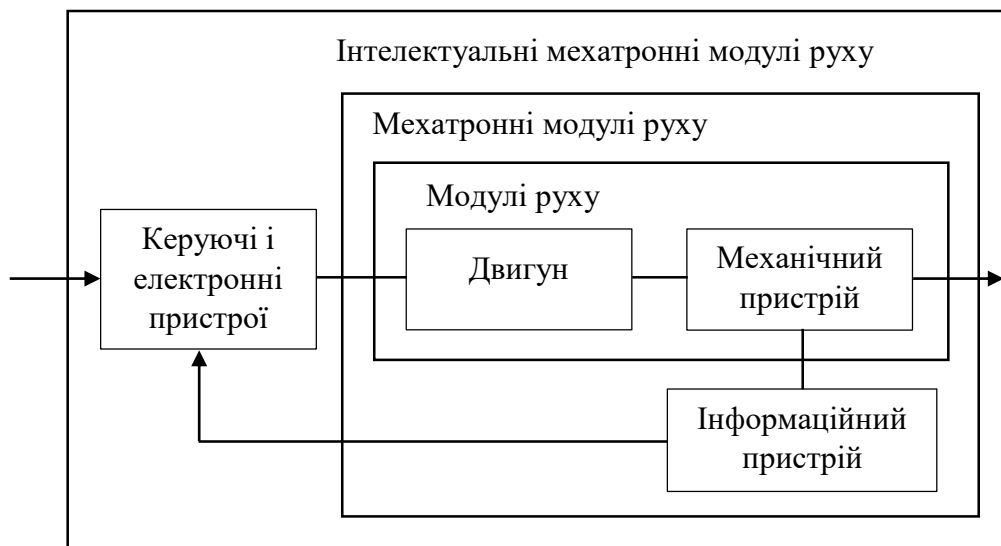


Рисунок 4.3 – Класифікація мехатронних модулів управління

Інформаційно-вимірювальні модулі призначені для збору, обробки, передачі, зберігання і подання вірної інформації в зручному для обчислювальної техніки виді для реалізації управління промисловими системами.

Модулі систем управління різного рівня призначені для управління складними динамічними об'єктами, і пропонують багаторівневу ієрархічну структуру, яка включає в себе стратегічний, тактичний і виконавчий рівні управління, які мають доступ до інформаційно-вимірювального модулю для рішення задач управління на кожному ієрархічному рівні управління мехатронної системи.

В загальному випадку складність задач управління системи обумовлює доцільність і необхідність їх вирішення із залученням нових технологічних методів і технологій штучного інтелекту. Для підвищення та ефективності рівня обладнання підприємств використовуються безпроводні модулі управління. Зв'язок містить всі процедури форми підключення і зв'язку між двома і більше пристроями із використанням безпроводного сигналу за допомогою технологій та пристроїв безпроводного зв'язку.

У використанні безпроводних технологій є безліч переваг, а саме:

- відстань передачі даних може змінюватися в межах від декількох метрів до тисячі кілометрів;
- безпроводний зв'язок може використовуватися для управління пультом керування, мобільним телефоном, або за допомогою персонального комп'ютера;
- можливе управління обладнанням декількома операторами.

Завдяки зменшенню кількості з'єднувальних проводів між пристроями, відбувається зменшення фізичної інфраструктури або методів обслуговування, що зменшить вартість системи управління. Безпроводний зв'язок дозволить задавати модулям управління план дій не залежно від місцезнаходження оператора. Тобто дає значну гнучкість.

Пристрої безпроводного зв'язку (телефони, комп'ютери) є доволі простими пристроями, які використовують в будь-якій точці світу – немає необхідності фізично зв'язувати щось для отримання або передачі повідомлень для модулів управління. За безпроводного управління машиною легше зупинити роботу, ніж за прямим провідним управлінням.

Основна характеристика сучасних промислових підприємств – складна інфраструктура. У процесі їх роботи використовується велика кількість обладнання та інженерних вузлів, які потребують якісного управління і постійного контролю. Прогресивним рішенням проблеми вважається застосування автоматичної системи, яка функціонує віддалено (рис. 4.4).

Використання віддаленої диспетчеризації має наступні переваги:

- можливість скорочувати кількість співробітників для обслуговування обладнання;
- зниження фінансових витрат;
- підвищення ефективності робочих вузлів і продовження терміну їх експлуатації;
- абсолютна точність одержуваної інформації;
- скорочення кількості використання енергоресурсів;
- оперативне усунення можливих поломок і аварій.

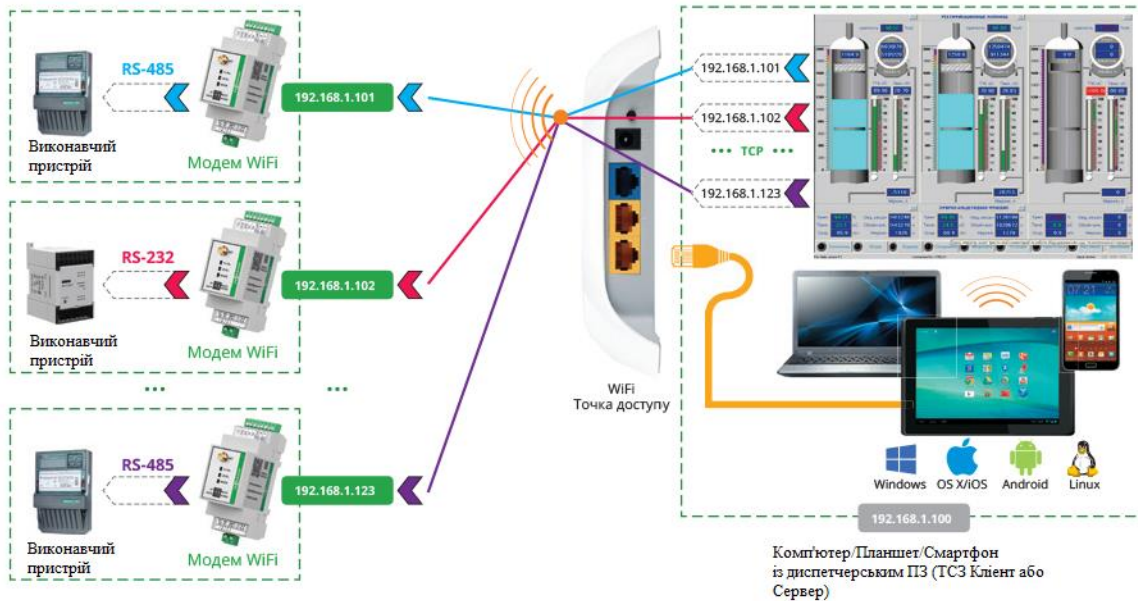


Рисунок 4.4 – Управління промисловими насосними об’єктами за допомогою безпроводного модулю керування

Для організації промислових систем обладнання, в завдання яких входить віддалене управління виробничими об’єктами, активно використовується безпроводне обладнання. На безпроводному обладнанні спеціалізується GSM-логер Zulu марки PROMODEM (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 – GSM-логер Zulu

Функціональне призначення пристрою – збір і зберігання показників даних. Прилад гарантує максимальну точність передачі відомостей про рівень температури, вологості, механічних навантажень. У комплект контролюючої системи також входять прилади, які дозволяють накопичувати отримані відомості, вимірювальні інструменти, серверні установки, сучасне програмне забезпечення.



На відміну від кабельних ліній мобільні канали зв'язку мають багато переваг:

- якісне управління об'єктами, незалежно від відстані;
- можливість під'єднання до системи нових локацій;
- оперативна передача інформації;
- незалежність від погодних умов.

За необхідністю передача відомостей може здійснюватися на мобільні електронні пристрої. Процес управління будь-яким підприємством за допомогою віддаленої системи проводиться в реальному часовому режимі. Обладнання дозволяє діагностувати робочі вузли, дистанційно включати або вимикати прилади, знімати показники з лічильників і передавати отримані результати в різні контролюючі інстанції, проводити необхідні розрахунки, складати статистичні документи і заповнювати звітні форми. Застосування GSM-логерів забезпечує максимально точну реєстрацію показників і постійний контроль за правильністю їх вимірювання.

Порти управління логеру:

- 1 x RS-232 (Tx і Rx);
- 4 x RS-232 (Tx) або 8 x ІК;
- 5 x LAN;
- 24 x I/O;
- 4 x реле 220В 8А.

Управління відбувається з ПК, Apple iOS або Android, що дає можливість створення індивідуального веб-інтерфейсу управління).

Модуль управління ZuLu забезпечує інтуїтивно зрозуміле управління аудіо-відео комплексами в аудиторіях і великих конференц-залах. Контролер ZuLu поєднує в собі екстраординарні можливості для управління аудіо-відео комплексами, швидку інсталяцію, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс і можливість запуску презентації натисненням однієї кнопки. Також, ZuLu дозволяє управляти безліччю додаткових пристроїв, таких як зміна освітлення і закриття жалюзі.

Переваги логеру:

- стельове кріплення – компактний корпус контролера швидко монтується за підвісну стелю;
- віддалене управління всім функціоналом системи здійснюється через сенсорний екран пристрою з Apple iOS або Android, або через веб-браузер Safari або Chrome;
- велика кількість інтерфейсів 24 x I/O для підключення додаткових кнопок, датчиків присутності, клавіатур, індикаторів та інших пристроїв;

– інтерфейс користувача – є можливість створити власний графічний інтерфейс;

– комплексне управління, яке включає в себе зміну освітлення, гучності, HVAC та інших систем;

– простота в налаштуванні, яка здійснюється за допомогою програми Neets Project Editor через USB або LAN.

Управляти освітленням і температурою можливо завдяки системі керування із безпроводною системою управління Econex RF RS485 (рис. 4.6).



Рисунок 4.6 – Система управління Econex RF RS485

Econex Smart – це надійний інструмент підвищення енергоефективності. У номенклатуру пристроїв системи управління Econex Smart входять датчик освітленості Econex RF SensorLux і датчик температури Econex RF SensorTemp. Для безперебійної роботи кожного з цих пристроїв потрібно тільки підключення живлення 220 В. Наявність ступеня захисту IP65 дозволяє встановлювати їх не тільки в приміщенні, але і на вулиці.

Безпроводна система управління освітленням Econex Smart володіє широкими можливостями: від управління окремими світильниками і світильниками, об'єднаними у групу за коштами радіомодулів Econex RF Standart, Econex RF Standart 4, Econex RF Standart 16, до управління будь-яким іншим технологічним обладнанням (воротами, вентиляцією, системою безпеки тощо) за допомогою універсального пристрою Econex RS485 Contact 16 і Econex RS485 Contact 4.

Дані модулі мають в своєму складі 16 або 4 виходи «сухий контакт». За командою користувача спрацьовує логічний вихід «сухий контакт» і включає або

вимикає будь-яке обладнання. Також за допомогою Econex RS485 Contact можна реалізувати алгоритми управління системою освітлення без оснащення світильників радіомодулями. Для цього при проектуванні об'єкта світильники розподіляються по лініях живлення через один, два або, наприклад, через п'ять. Згодом можна отримати кілька ступенів освітленості, включаючи або вимикаючи одну або кілька ліній. Принцип роботи управління освітленням на основі Econex RF RS485 представлений на рис. 4.7.

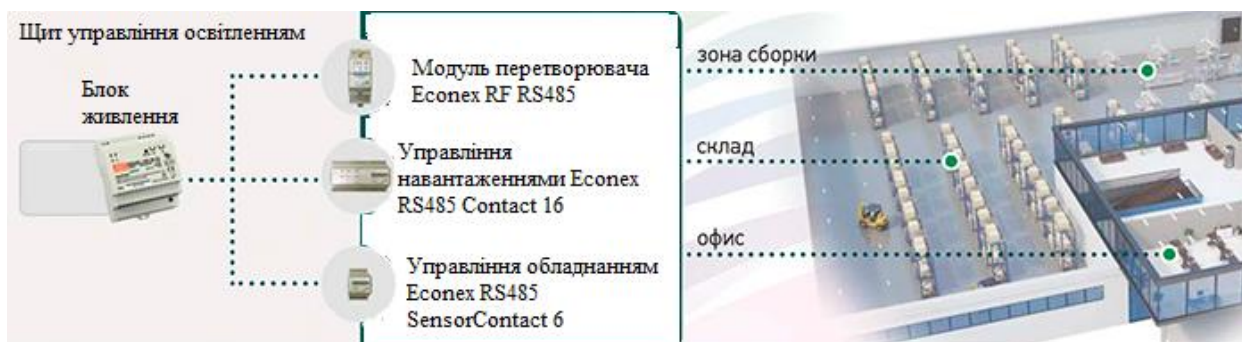


Рисунок 4.7 – Управління освітленням на основі RF RS485 і RS485 Contact 16

SensorContact 6 є спільною роботою даного пристрою і 6 датчиків руху. Причому датчики руху можуть бути з різним принципом дії і діаграмою спрямованості, головне, щоб вони мали в своєму складі контакти, які замикаються або розмикаються при його спрацьовуванні. Як тільки контакти замкнуться або розімкнуться, модуль передає системі управління Econex Smart відповідний сигнал, після чого вона здійснює потрібну дію.

Econex RS485 Contact 16, Econex RS485 Contact 4 і Econex RS485 SensorContact 6 мають інтерфейс управління RS485 і інтегруються в бездротову систему управління Econex Smart за допомогою підключення модуля перетворення Econex RF RS485. Даний пристрій представляє з себе шлюз, який передає команди з радіофіру в інтерфейс RS485 і в зворотному напрямку.

До одного Econex RF RS485 може бути підключено кілька різних виконавчих модулів, а необхідна напруга живлення становить 24 В. Крім цього, перетворювач може взаємодіяти з будь-якими пристроями інших виробників, що працюють по протоколу управління RS485, наприклад, лічильники електричної енергії.

Програмне забезпечення Econex Smart має сучасний і простий інтерфейс, який не вимагає від користувача будь-яких професійних знань в області програмування і бездротових технологій. З першого погляду зрозуміло, як

сформувати зону, прив'язати до неї світильники або інше обладнання, призначити роботу за розкладом або датчикам тощо – у будь-якому зручному місці можна поставити текстову мітку або умовне зображення вимикача. Часто використовувані алгоритми роботи, наприклад, робота зони по датчику освітленості, прописані за замовчуванням в програмному забезпеченні.

При цьому є можливість створити свої власні користувальницькі алгоритми і сценарії роботи обладнання за допомогою мови програмування JavaScript і спеціального модуля, зокрема, задати послідовність дій пристроїв в залежності від різних умов. Наприклад, при відкритті воріт в цеху в холодну пору автоматично включити теплову завісу і при закритті воріт вимкнути її через одну хвилину.

Система Econex Smart здійснює збір і контроль статистичних даних про енергоспоживання освітлювальної установки, проводить їх всебічний аналіз і потім надає користувачеві всю інформацію про кількість зекономленої електроенергії.

По кожній фазі фіксуються такі показники, як струм, напруга, і споживана активна потужність. Всі результати зберігаються для того, щоб мати можливість перегляду статистики за будь-який період (день, тиждень, місяць) цілого року. Дані можуть бути представлені користувачеві як в графічному вигляді, що має велику наочність, так і в табличній формі.

Виходячи із аналізу систем управління безпроводними модулями виникає необхідність в розробці нових рішень та програмного забезпечення для реалізації процесу безпроводного управління промисловими обладнаннями, які дозволять збільшити ефективність та надійність системи управління процесами.

Для розробки безпроводного модулю управління промисловим обладнанням необхідно створення структурної схеми модулю, розробити об'єктивну модель програмного засобу, обрати контролер управління та розробити інтерфейс управління.

#### 4.4 Аналіз способів побудови сучасних ПЛК

Сучасні ПЛК, що використовують інноваційні технології, далеко пішли від перших спрощених реалізацій промислового контролера, але закладені в систему управління універсальні принципи були стандартизовані та успішно розвиваються вже на базі новітніх технологій.

Найбільшими світовими виробниками ПЛК сьогодні є компанії Siemens AG, Allen-Bradley, Rockwell Automation, Schneider Electric, Omron. Крім них ПЛК

випускають і багато інших виробників, включаючи компанії ТОВ КОНТАР, Овен, Сегнетікс, Fastwel Груп, група компаній Текон та інші.

Апаратно ПЛК є обчислювальною машиною. Тому архітектура його процесорного ядра практично не відрізняється від архітектури комп'ютера.

Відмінності спостерігаються у складі периферійного обладнання, також відсутні відеокарта, засоби ручного вводу і дискова підсистема. Замість них ПЛК має блоки входів і виходів.

За конструктивним виконанням ПЛК поділяють на:

- моноблочні (рис. 4.8);
- модульні (рис. 4.9);
- розподілені.



Рисунок 4.8 – Моноблочні програмовані логічні контролери

Моноблочні (одноплатні) ПЛК мають фіксований набір входів-виходів. У корпусі моноблочного ПЛК поряд з центральним процесором (ЦП), пам'яттю і блоком живлення розміщується фіксований набір входів-виходів.

У модульних ПЛК використовують модулі вводу/виводу, що встановлюються окремо (рис. 4.9). Модулі вводу/виводу встановлюються у різній комбінації і кількості залежно від необхідної конфігурації. Таким чином, досягається мінімальна апаратна надмірність.

Згідно з вимогами МЕК 61131, тип і кількість модулів вводу/виводу може змінюватися залежно від поставленого завдання та оновлюватися з часом. ПЛК, подані на рис. 4.9, можуть діяти в режимі «ведучого» і розширюватися «веденими» ПЛК через інтерфейс Ethernet.

У розподілених системах модулі вводу/виводу, які утворюють єдину систему управління, можуть бути рознесені на значні відстані.

Моноблочні функціонально завершені ПЛК можуть містити невеликий дисплей і кнопки управління. Дисплей призначений для відображення поточних

робочих параметрів і команд робочих програм і технологічних установок, що вводяться за допомогою кнопок. Більш складні ПЛК комбінуються з окремих функціональних модулів, спільно закріплюються на стандартній монтажній рейці. Залежно від кількості обслуговуваних входів і виходів, встановлюється необхідна кількість модулів вводу/виводу.



Рисунок 4.9 – Програмовані логічні контролери з розширеними  
можливостями

Характерним для сучасних контролерів є використання багатопроцесорних рішень. У цьому випадку модулі вводу/виводу мають власні мікропроцесори, які виконують необхідну попередню обробку даних.

Модуль центрального процесора має виділену швидкісну магістраль даних для роботи з пам'яттю і окрему магістраль (мережу) для спілкування з модулями вводу/виводу.

Ще одним варіантом побудови ПЛК є мезонін технологія. Всі силові ланцюги, пристрої захисту контролера реалізуються на несучій платі. Процесорне ядро контролера, включаючи систему виконання, побудовано на окремій змінній (мезонін) платі. Внаслідок з'являється можливість складати кілька комбінацій процесорного ядра і різних силових плат без необхідності коригування програмного забезпечення. За необхідності процесор можна замінити навіть у готовій системі.

Джерело живлення може бути вбудованим в основний блок ПЛК, але частіше воно виконане у вигляді окремого блоку живлення (БЖ), який

закріплюється поруч на стандартній рейці. Блок живлення невеликої потужності подано на рис. 4.10.



Рисунок 4.10 – Блок живлення для ПЛК

Первинним джерелом для БЖ найчастіше слугує промислова мережа 24/48/110/220/400 В, 50 Гц. Інші моделі БЖ можуть використовувати як первинне джерело постійної напруги на 24/48/125 В.

Стандартними для промислового обладнання та ПЛК є вихідні напруги БЖ: 12, 24, 48 В. У системах підвищеної надійності можлива установка двох спеціальних резервованих БЖ для дублювання електроживлення.

Для збереження інформації під час аварійних відключень мережі електроживлення в ПЛК використовують додаткову батарею.

Як відомо, початкова концепція програмованого логічного контролера сформувалася за часів переходу з релейно-транзисторних систем управління промисловим обладнанням на мікроконтролери, що тоді з'явилися. Подібні ПЛК з 8- і 16-розрядних МП обмеженою продуктивності досі успішно експлуатуються і знаходять нові сфери застосування.

Величезний прогрес у розвитку мікроелектроніки затронув усю елементну базу ПЛК. У них значно розширився діапазон функціональних можливостей.

Таким чином, стає зрозуміло, що ПЛК – це просто особливим чином спроектована цифрова система управління на основі процесорів різної потужності і з різною функціональною оснащеністю, залежно від призначення. Таку систему можна також вважати спеціалізованим міні- комп'ютером. Причому вона спочатку орієнтована на експлуатацію в цехах промислових

підприємств, де є безліч джерел електромагнітних перешкод, а температура може бути як позитивною, так і негативною.

Додатково до мінімізації впливу вищевказаних факторів необхідно передбачити і захист від агресивного зовнішнього середовища, що включає пил, бризки технологічних рідин і пароповітряні суспензії. У таких випадках передбачена установка ПЛК в захисні шафи або у віддалених приміщеннях. Окремі модулі можуть розміщуватися на відстані до сотень метрів від основного комплексу ПЛК і експлуатуватися за екстремальних зовнішніх температур. Згідно з МЕК 61131, для ПЛК з зовнішньої установкою допустима температура 5...55 °С. Для встановлюваного в закритих шафах ПЛК необхідно забезпечити робочий діапазон 5...40 °С за відносної вологості 10...95 % (без утворення конденсату).

Тип ПЛК обирається в ході проектування системи управління і залежить від поставлених завдань та умов виробництва. В окремих випадках це може бути моноблочний ПЛК з обмеженими функціями, який має достатню кількість входів і виходів. В інших умовах будуть потрібні ПЛК з розширеними можливостями, що дозволяють використовувати розподілену конфігурацію з віддаленими модулями входу-виходу та з віддаленими пультами управління технологічним процесом.

Зв'язок між віддаленими блоками і основним ядром ПЛК здійснюється через захищені польові шини мідними кабелями та оптичними лініями зв'язку. В окремих випадках, наприклад, для зв'язку з рухомими об'єктами, застосовують безпроводні технології, найчастіше це мережі і канали Wi-Fi. Для взаємодії з іншими ПЛК можуть застосовуватися як широко відомі інтерфейси RS-232 і RS-485, так і більш захищені промислові варіанти типу Profibus і CAN.

Контролери традиційно працюють у нижній ланці автоматизованих систем управління підприємством (АСУП) – систем, безпосередньо пов'язаних з технологією виробництва. ПЛК зазвичай є першим кроком у побудові систем АСУ. Це пояснюється тим, що необхідність автоматизації окремого механізму або установки завжди найбільш очевидна. Вона дає швидкий економічний ефект, покращує якість виробництва, дозволяє уникнути фізично важкої і рутинної роботи. Контролери створені саме для такої роботи.

Повністю автоматичну систему вдається створити не завжди. Часто необхідне «загальне керівництво» з боку кваліфікованої людини – диспетчера.

На відміну від технічних засобів АСУ ТП, такі системи називають автоматизованими. Зараз використовується цілий клас програмного забезпечення реалізації інтерфейсу людина-машина (НМІ). Це так звані системи



збору даних і оперативного диспетчерського управління (Supervisory Control And Data Acquisition System – SCADA). Приклад пристрою для реалізації інтерфейсу людина-машина показаний на рис. 4.11.



Рисунок 4.11 – Сенсорні панельні контролери СПК1ХХ

Сучасні SCADA-системи створюються з обов'язковим застосуванням засобів мультимедіа. Крім живого відображення процесу виробництва, диспетчерські системи дозволяють накопичувати отримані дані, проводять їх зберігання і аналіз, визначають критичні ситуації і здійснюють оповіщення персоналу телефонними каналами або радіомережею, дозволяють створювати сценарії управління, формують дані для аналізу економічних характеристик виробництва.

Створення систем диспетчерського управління є окремим видом бізнесу. Розподіл виробництва ПЛК, засобів програмування і диспетчерських систем призвело до появи стандартних протоколів обміну даними. Найбільшу популярність отримала технологія OPC (OLE for Process Control), заснована на механізмі DCOM Microsoft Windows. Механізм динамічного обміну даними (DDE) ще досить поширений, незважаючи на те, що вимогам систем реального часу не задовольняє.

У комплекс програмування ПЛК входить OPC-сервер. Він вміє отримувати доступ до даних ПЛК так само прозоро, як і відладчик. Достатньо забезпечити канал передачі даних ПЛК-OPC-сервер. Зазвичай такий канал існує, він використовується в ході налаштування. Уся подальша робота зводиться до визначення переліку доступних змінних, правильного налаштування мережі, конфігурації OPC-сервера і SCADA-системи. В цілому операція дуже нагадує налаштування загальнодоступних пристроїв локальної мережі ПК.

ПЛК є засобами системної інтеграції і складовою частиною базового програмного забезпечення сучасної АСУ ТП (рис. 4.12).

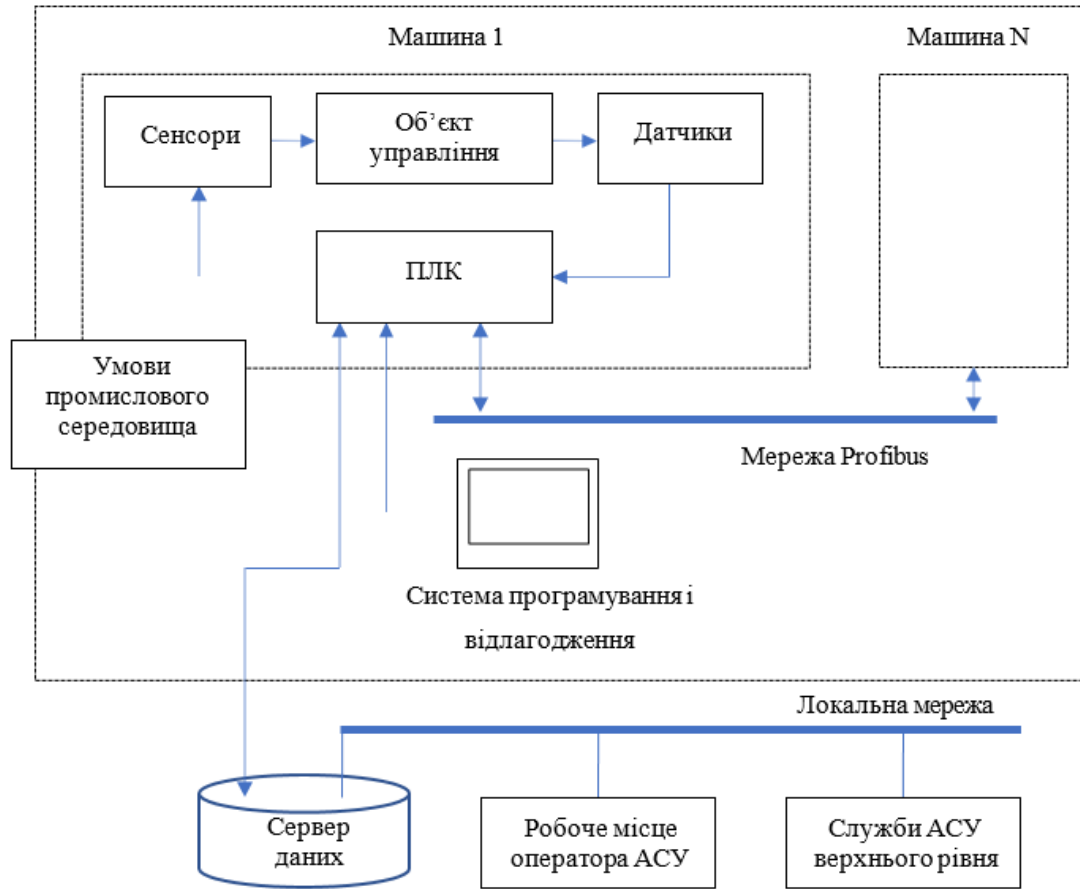


Рисунок 4.12 – Місце ПЛК в АСУ ТП

Іншим важливим завданням є інтеграція декількох ПЛК з метою синхронізації їх роботи. Тут з'являються мережі, які мають ряд специфічних вимог.

В якості аналогічних пристроїв розглянемо лінійку ПЛК TM172XXX. Це сучасні пристрої для автоматизації малих та середніх об'єктів на сучасному виробництві. Пристрої мають широку номенклатуру та представлені в різних варіантах виготовлення. Серед лінійки пристроїв є такі, що мають вбудований дисплей для відображення технологічної інформації. Приклад такого пристрої показано на рис. 4.13. У табл. 4.1 подано опис основних складових ПЛК.

Користувальницький інтерфейс контролерів TM172PD і TM172OD містить 5 клавіш і 4 світлодіоди (рис. 4.14). Логічні контролери TM172PB і TM172OB не оснащені дисплеями. Можна використовувати віддалений дисплей TM172DCL.

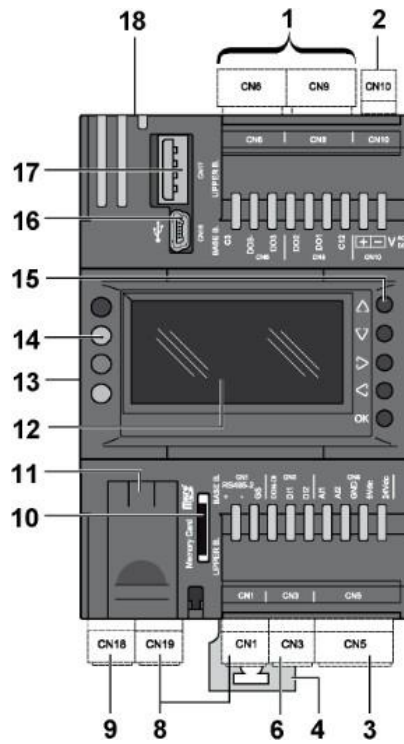


Рисунок 4.13 – Зовнішній вигляд ПЛК серії TM172PD

Таблиця 4.1 – Опис основних складових ПЛК

Номер	Ім'я	Опис	
1	CN6	D03	Високовольтний цифровий вихід реле 250 В змін, струму, 3 А два напрямки
	CN9	D01 – D02	Високовольтний цифровий вихід реле 250 В змін, струму, 3 А один напрямок
2	CN10	Ізольоване джерело електроживлення 24 В змінного/ постійного струму	
3	CN5	Вихід живлення	Вихід живлення +24 В постійного струму для аналогових входів, максимальний струм 100 мА Вихід живлення +5 В постійного струму для логометричних аналогів входів, максимальний струм 40 мА
		AI1 – AI2	Аналогові входи можна конфігурувати як: <ul style="list-style-type: none"> <li>- резистивний вхід РТС або цифровий вхід;</li> <li>- аналоговий вхід для вимірювання сили струму;</li> <li>- аналоговий вхід для вимірювання напруги;</li> <li>- резистивний вхід РТС.</li> </ul>

Закінчення таблиці 4.1

Номер	Ім'я	Опис	
4	–	Фіксатор, що пристібається	
6	CN3	DM –DI2	Швидкодіючий цифровий вхід, частотомір повторення імпульсів 0...2 кГц, оптоізольований
8	CN1	Послідовний порт RS-485-2	
	CN19	Послідовний порт RS-485-1	
9	CN18	Головний пристрій шини розширення CAN	
10	–	Слот карти пам'яті Micro SD	
11	–	Двері для обслуговування батареї	
12	–	Користувальницький інтерфейс – дисплей	
13	–	З'єднувач модуля зв'язку	
14	–	Користувальницький інтерфейс – світлодіоди	
15	–	Користувальницький інтерфейс – клавіші	
16	CN16	Розетка USB типу Mini-B для підключення до ПК	
17	CN17	Розетка USB типу A для знімного накопичувача (FAT32)	
18	CN20	Ethernet Modbus TCP/IP або BACnet IP	

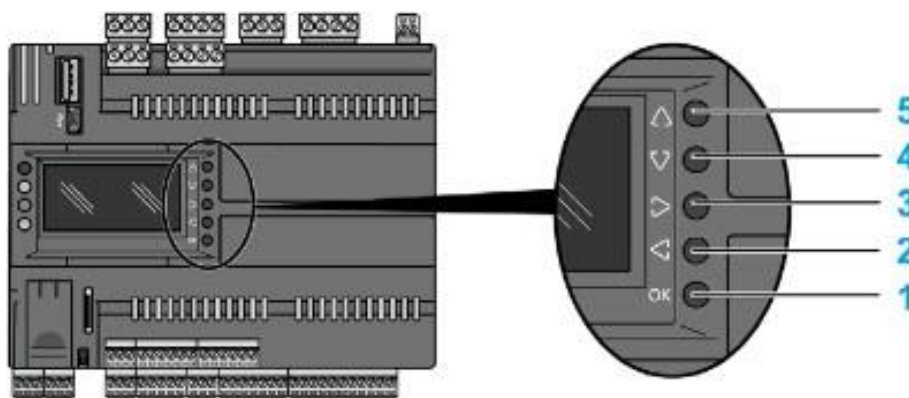


Рисунок 4.14 – Інтерфейс керування ПЛК

В користувальницькому інтерфейсі TM172PD і TM172OD використовуються наступні засоби індикації. Клавіші можна запрограмувати в додатку контролера. У поданій нижче табл. 4.2 описано налаштування клавіш за замовчуванням в режимі редагування (клавіші можна запрограмувати в додатку контролера).

Таблиця 4.2 – Опис дії клавіш

Номер	Клавіша	Натиснути один раз (натиснути і відпустити)	Натиснути і утримувати
1	ОК	Увійти в режим / вийти з режиму редагування Підтвердити операцію в режимі редагування	–
2	ВЛІВО	Перемістити курсор вліво в режимі редагування	Вийти з режиму редагування без збереження
3	ВПРАВО	Перемістити курсор вправо в режимі редагування	–
4	ВНИЗ	Зменшення значення в режимі редагування	–
5	ВВЕРХ	Збільшення значення в режимі редагування	–

На рис. 4.15 показаний зовнішній вигляд розташування світлодіодів на передній панелі ПЛК.

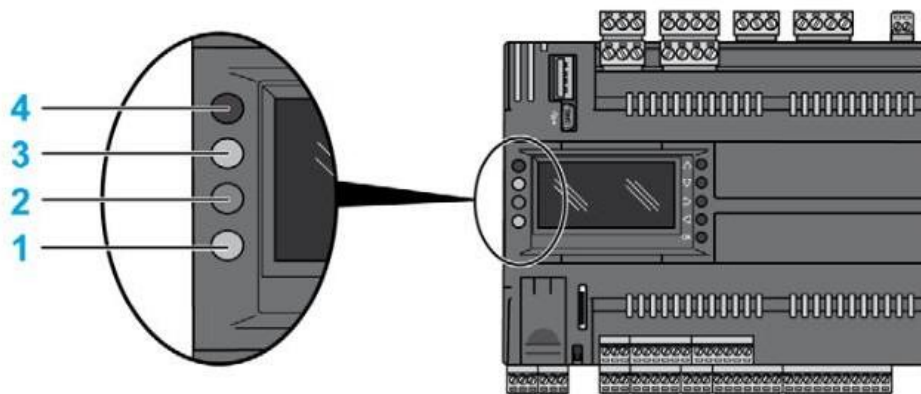


Рисунок 4.15 – Зовнішній вигляд розташування світлодіодів на передній панелі ПЛК

У табл. 4.3 подано позначення і опис світлодіодних індикаторів. За стандартом світлодіоди А, В, С використовуються для управління через USB. У разі, якщо контролер не має вбудованого дисплея, то можна використовувати виносний. Приклад виносного дисплея показаний на рис. 4.16.

У табл. 4.4 подано позначення і опис складових частин виносного дисплею.

Таблиця 4.3 – Позначення і опису світлодіодних індикаторів

Номер	СІД	Колір	Функція
1	С	Зелений	Програмується в додатку контролера
2	В	Жовтий	
3	А	Червоний	
4	Р	Зелений	Включений, якщо на контролер подано живлення

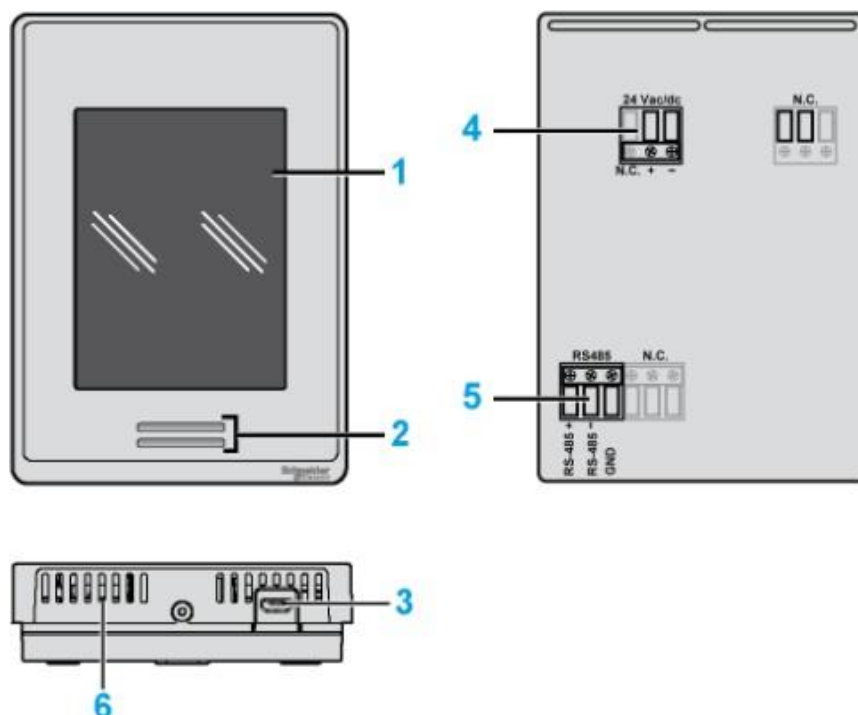


Рисунок 4.16 – Виносний дисплей для ПЛК

Таблиця 4.4 - Позначення і опис складових частин виносного дисплею

Номер	Опис
1	Сенсорний екран
2	Отвори для інфрачервоного датчика PIR
3	USB-порт Micro-B
4	З'єднувач електроживлення
5	З'єднувач Modbus SL RS-485
6	Отвори для вимірювання температури

На рис. 4.17, а показані габаритні розміри аналогічного пристрою TM172DCL. Пристрій TM172DCL можна підключити до контролера через RS-485 Modbus. Для цього використовується роз'єм, схема якого показана

на рис. 4.17, б. Ланцюг з'єднувача RS-485 не має внутрішнього підключення до клеми електроживлення пристрою.

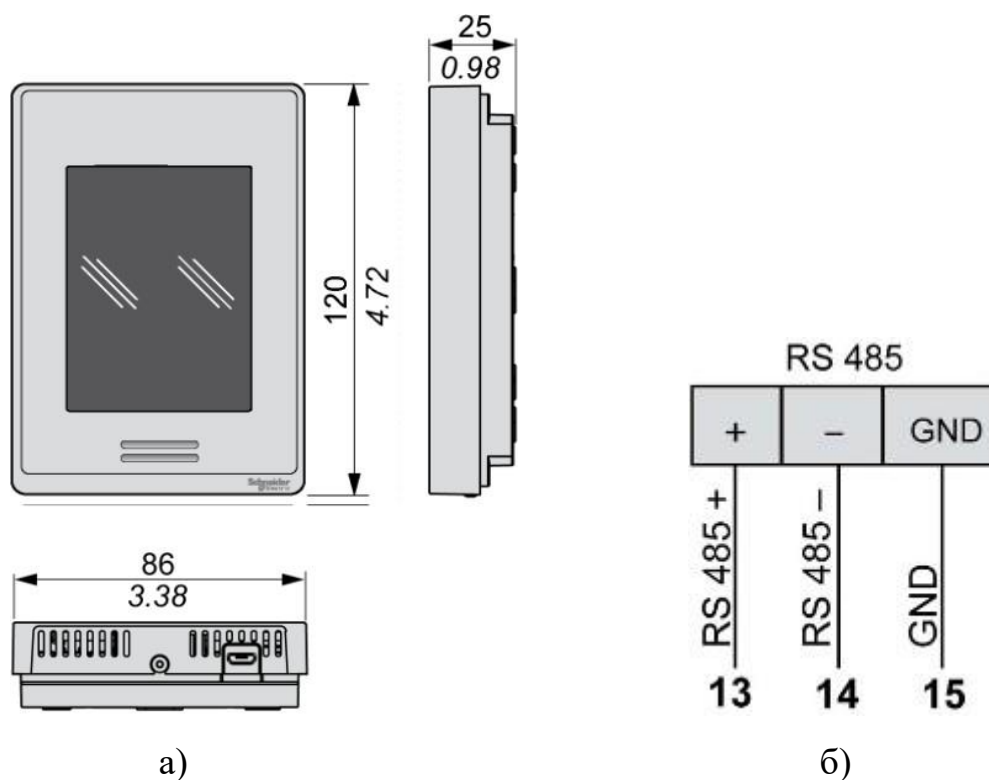


Рисунок 4.17 – Габаритні розміри аналогічного пристрою TM172DCL (а);  
схема роз'єму інтерфейсу RS-485 (б)

На рис. 4.18 показана схема підключення виносного дисплея до пристроїв автоматики.

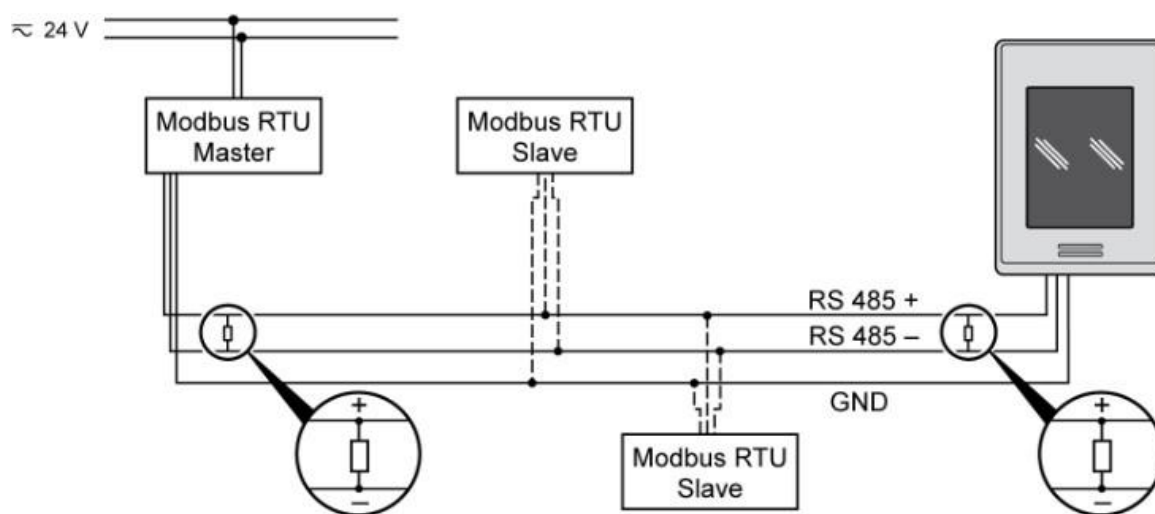


Рисунок 4.18 – Схема підключення виносного дисплея до пристроїв автоматики

В результаті виконання аналізу були розглянуті сучасні програмовані логічні контролери. В результаті подальшої роботи необхідно:

- визначити функції кнопок керування;
- вибрати тип мікроконтролеру для керування модулем відображення інформації;
- розробити принцип взаємодії модуля з ПЛК на основі протоколу Modbus;
- розробити структурну схему модуля відображення інформації;
- скласти програму керування модулем відображення інформації;
- виконати тестове випробування розробленого модулю.

#### 4.5 Розробка структурної схеми безпроводного модулю управління промисловим обладнанням

Розробка структурної схеми безпроводного модулю управління промисловим обладнанням є основою для розробки в цілому. Структурна схема безпроводного управління представлена на рис. 4.19.

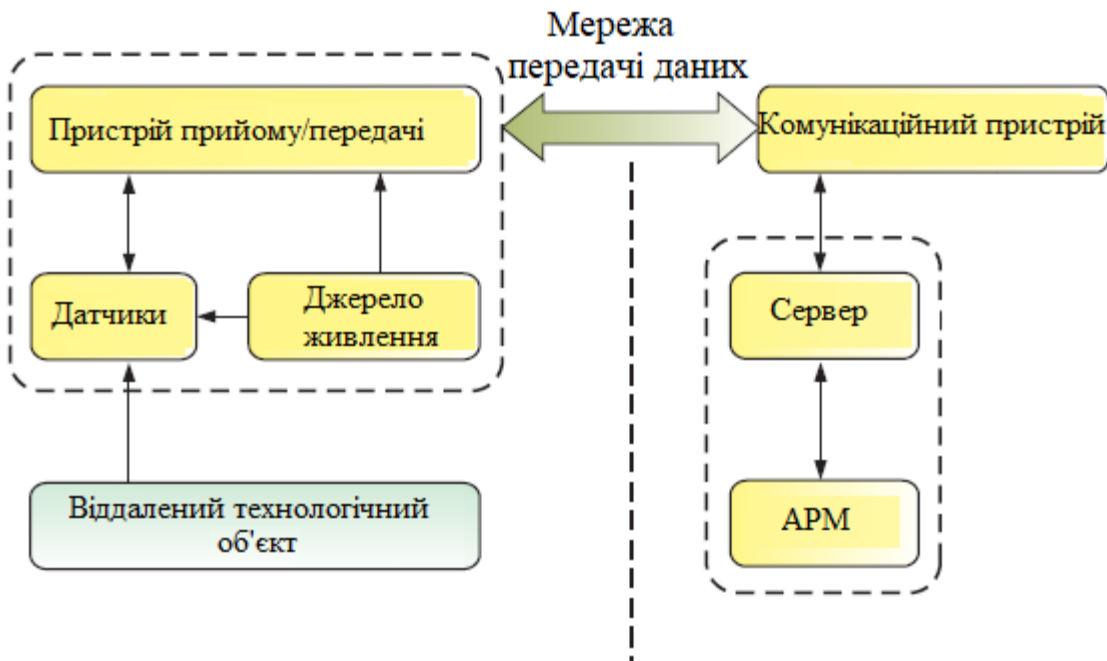


Рисунок 4.19 – Структурна схема безпроводного управління

Пристроєм управління є комунікаційний пристрій – одноплатний комп’ютер Raspberry Pi Zero WH, а об’єктом управління – технологічний об’єкт – пристрій штампування.



В ході роботи пристрій управління повинен отримувати інформацію о ході технологічного процесу в об'єкті управління, тобто збирати та отримувати дані від вимірювальних пристроїв та датчиків про виконання процесу штампування. Комп'ютер Raspberry Pi Zero WH обробляє отриману операцію та передає цифрові сигнали на сервер для зберігання інформації та на автоматизоване робоче місце (АРМ).

На об'єкті управління встановлюються датчики технологічних процесів і виконавчий механізм штампування, котрі комутують із пристроєм прийому/передачі даних, які в свою чергу утворюють нижній рівень безпроводного зв'язку контролю та управління. Контроль положення об'єкту штампування буде здійснюватися датчиками.

Пристрій сполучення виконує при цьому функцію перетворювача та прийому/передачі даних, забезпечуючи проміжну буферизацію даних і реалізацію алгоритмів управління.

Передача даних до пристроїв сполучення сусідніх об'єктів контролю і управління та/або на «верхній рівень» здійснюється пристроєм сполучення по безпроводній мережі передачі даних.

Сервер відповідає за прийом інформації, її обробку згідно заданому алгоритму, зберігання даної інформації та відправку даних на АРМ. Дані від датчиків поступають на сервер та виводяться на АРМ. Присутність оперативної та об'єктивної інформації про функціонування технологічного об'єкту дозволить робити висновки про ефективність роботи і планувати події по реконструкції, оновленню пристрою.

Сервер матиме власну базу даних для збору та обробки даних. Призначення серверу має наступні переваги:

- формування єдиного інформаційного простору;
- довгострокове зберігання інформації про події з можливістю подальшого розшифрування і аналізу;
- підтримка єдиної технології адміністрування бази даних;
- автоматизований контроль роботи системи;
- скорочення витрат на навчання операторів і підвищення ефективності їх роботи за рахунок використання єдиного інтерфейсу;
- розмежування повноважень відповідальних осіб при прийнятті рішень та доступ до інформації.

Накопичені результати моніторингу дають можливість забезпечити контроль послідовності дій об'єкту управління для будь-якого інтервалу часу,

що включає випадки можливого виникнення позаштатних ситуацій, що забезпечить безпеку експлуатації пристрою.

Автоматизоване безпроводне управління дозволить зменшити ризики травматизму та підвищити якість управління процесом штампування, зменшити помилки в роботі, підвищити продуктивність і дозволить організувати виробництво в будь-якій галузі.

#### 4.6 Вибір контролера управління промисловим обладнанням

Як об'єкт безпроводного управління обладнанням розглянемо одноплатний комп'ютер Raspberry Pi ZERO WH (рис. 4.20).

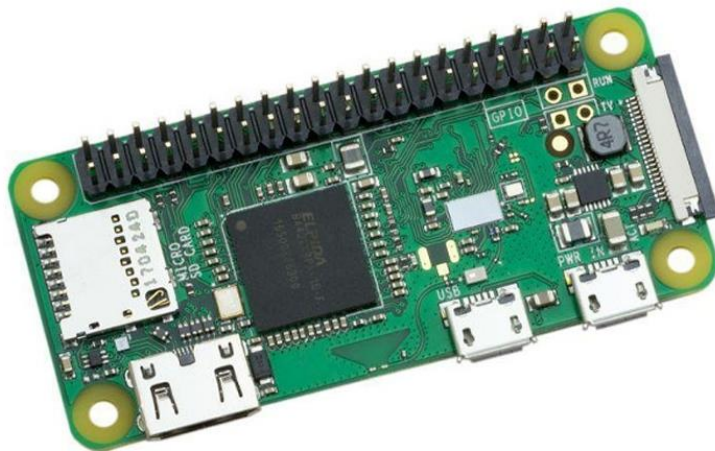


Рисунок 4.20 – Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi ZERO WH

Raspberry Pi Zero – представник одноплатних комп'ютерів з сімейства Raspberry Pi від компанії Raspberry Foundation. Мініатюрні розміри пристроїв серії, дешевизна і досить серйозні можливості забезпечили її популярність і широту застосування в різних сферах автоматизації.

Основні характеристики Raspberry Pi ZERO WH:

- процесор – однокристальний чіп Broadcom BCM2835;
- вбудована оперативна пам'ять – 512 Мб LPDDR2 SDRAM;
- порти USB (один OTG, один для живлення);
- порт міні-HDMI, здатний виводити зображення у форматі FullHD;
- роз'єм для карт пам'яті MicroSD (з карти завантажується операційна система);
- 40-контактна площадка GPIO;
- наявність роз'єму для камери;
- контактні площадки для розпаювання композитного відеовиходу.

За роботу бездротових інтерфейсів Raspberry Zero WH відповідає мікросхема Cypress CYW43438.

Для підключення основної маси ведених пристроїв служить роз'єм GPIO.

Для розробки програмного забезпечення безпроводного управління необхідно спроектувати об'єктну модель ПЗ. Об'єктна модель програмного засобу представлена на рис. 4.21.

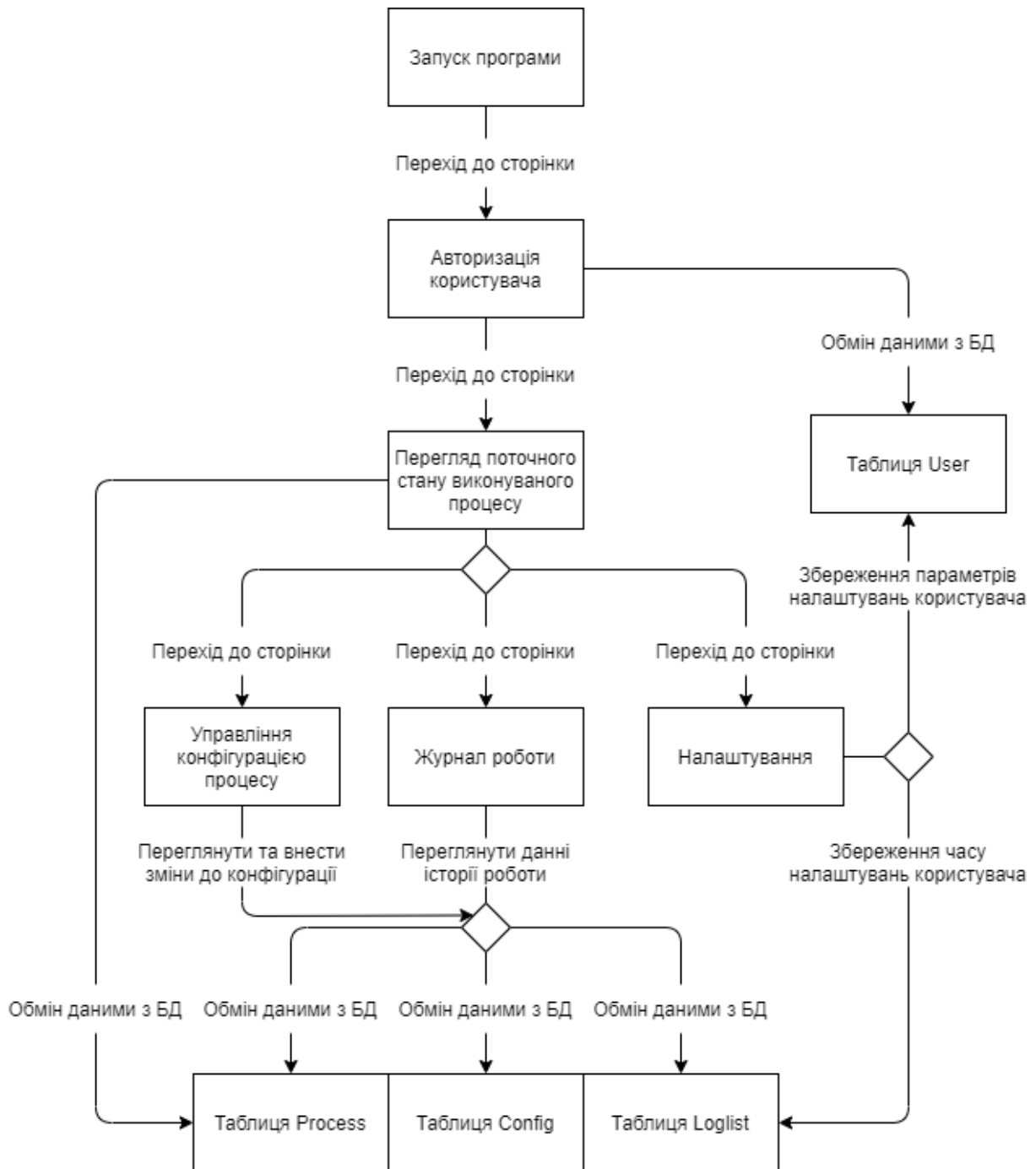


Рисунок 4.21 – Об'єктна модель програмного засобу

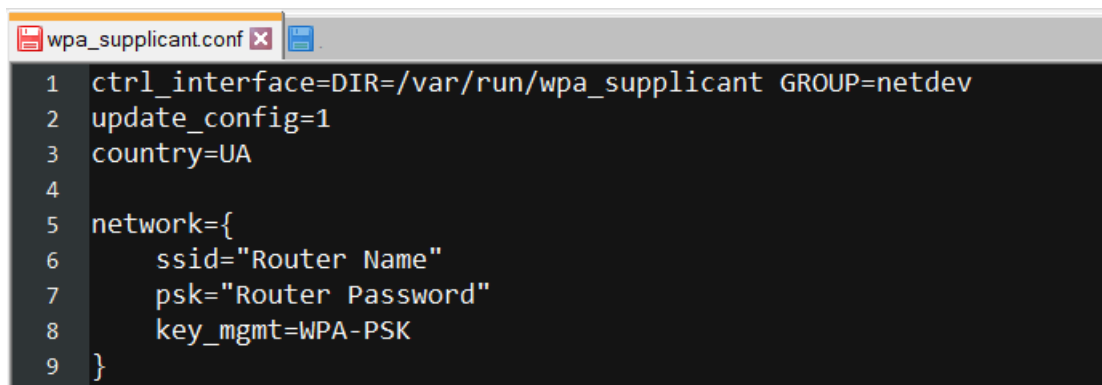
На об'єктній моделі зображено основні вузли програми такі, як вузол головного меню, за допомогою якого можна перейти у три різні меню і виконувати перегляд, редагування та видалення даних.

Із головного меню при переході поточного стану можливо розглянути час роботи штампування, розглянути графік історії роботи пристроєм. Кожне меню має з'єднання із базою даних.

На початку користування комп'ютеру Raspberry ZERO WH необхідно встановити операційну систему (ОС). Наприклад, ОС Raspbian Buster-Lite, яка має найменші вимоги до потужності пристрою, на який буде інстальована. Для цього необхідно завантажити із офіційного сайту образ ОС Raspbian та записати його на SD-карту.

Наступною дією є створення файлу з ім'ям `ssh` – файл, необхідний для того, щоб дозволити роботу за віддаленим терміналом.

Далі створюємо файл з ім'ям `wpa_supplicant.conf` – файл із конфігурацією точки доступу Wi-Fi із заданими параметрами підключення (рис. 4.22).



```
wpa_supplicant.conf
1 ctrl_interface=DIR=/var/run/wpa_supplicant GROUP=netdev
2 update_config=1
3 country=UA
4
5 network={
6     ssid="Router Name"
7     psk="Router Password"
8     key_mgmt=WPA-PSK
9 }
```

Рисунок 4.22 – Внесення параметрів Wi-Fi точки доступу

При підключенні SD-карти до Raspberry Pi необхідно завантажити до каталогу `/boot` створені файли. Також можна створити скрипт з розширенням `*.sh` для автоматичної інсталяції набору необхідних для роботи серверу програм. Далі проводимо установку програмного забезпечення, що дозволить системі при ввімкненні автоматично створювати власну точку доступу (AP), а за наявності збережених параметрів Wi-Fi точки доступу – підключатися до існуючої (рис. 4.23). Створюємо файл із кодом для встановлення всіх засобів, які потрібні для створення інтерфейсу. Завдяки написаному коду автоматизуємо інсталювання всієї серверної частини програмного забезпечення.

```
pi@raspberrypi: ~/Autohotspot
Please select again
Raspberryconnect.com Autohotspot installation and setup
For installation or switching between hotspot types
or uninstall the hotspot back to standard Pi wifi

Autohotspot Net = connects to a known wifi network in range,
otherwise creates a Raspberry Pi Hotspot with internet if an
Ethernet cable is connected, wlan0, Eth0. Pi's 3,3+,4

Autohotspot NO Net = as above but connected devices to the hotspot
will NOT get internet if an Ethernet cable is connected. Rpi Zero W

Permanent Hotspot = permanent hotspot with net access for connected devices

1 = Install Autohotspot with Internet for Connected Devices
2 = Install Autohotspot with No Internet for connected devices
3 = Install a Permanent Hotspot with Internet for connected devices
4 = Uninstall Autohotspot or Permanent Hotspot
5 = Add or Change a WiFi network (SSID)
6 = Autohotspot: Force to a Hotspot or Force to Network if SSID in Range
7 = Change the Hotspots SSID and Password
8 = Exit

Select an Option:2
```

Рисунок 4.23 – Меню скрипту для встановлення точки доступу

Після встановлення всього програмного забезпечення підключаємося до Raspberry Pi по протоколу SFTP та проводимо створення web-інтерфейсу для входу на сервер управління модулем (рис. 4.24).

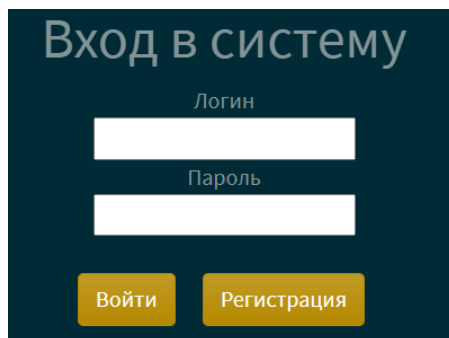


Рисунок 4.24 – Вхід в систему серверу управління

Створюємо макет меню програми безпроводного управління (рис. 4.25).

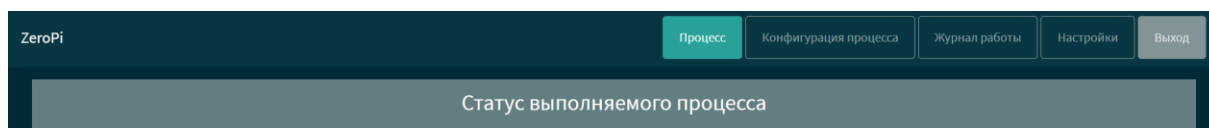


Рисунок 4.25 – Головне меню програми

В налаштуваннях програмного інтерфейсу можливі наступні функції:

- реєструвати нових користувачів, на дану дію потрібні права рівня адміністратора;
- звичайні користувачі можуть здійснювати перехід на листи «Статус виконуваного процесу», «Конфігурація процесу» та «Журнал роботи»;
- адміністратор має доступ до всіх сторінок конфігурації;
- адміністратор може змінювати робочу точку доступу, змінювати пароль власного облікового запису і створювати нових користувачів.

Далі створюємо сторінку програми «Процес» (рис. 4.26). Дана сторінка буде з'являтися, якщо вірна авторизація користувачем.

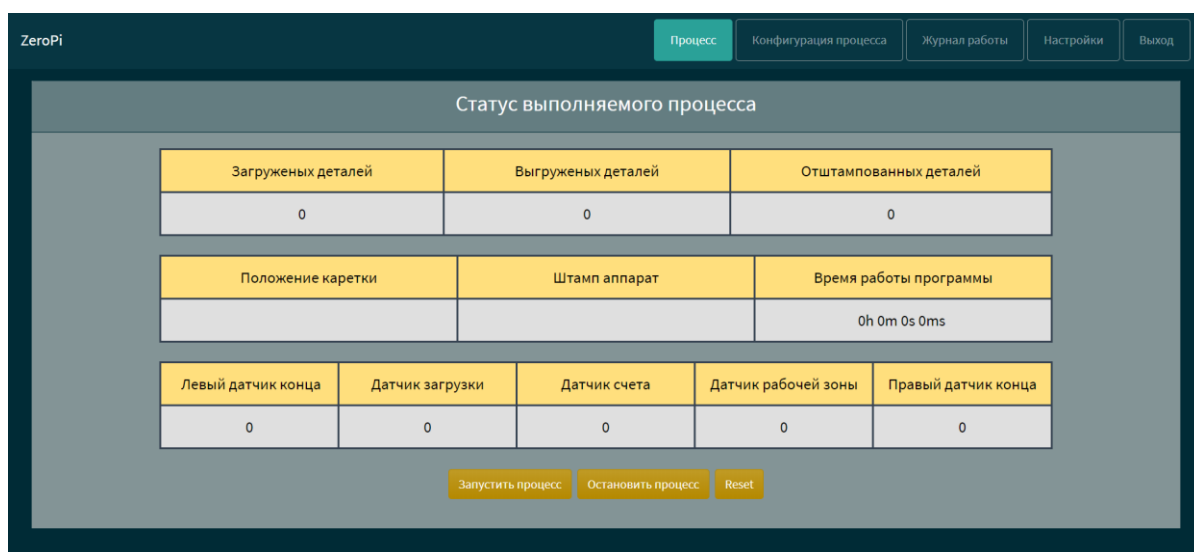


Рисунок 4.26 – Сторінка «Процес»

На даній сторінці є можливим проводити спостереження за наступними параметрами:

- кількість завантажених деталей, які кладуть на каретку;
- кількість розвантажених деталей, які знімають з каретки;
- кількість відштампованих деталей, які пройшли штампування;
- поточний стан положення каретки;
- поточний стан штампувального апарату;
- час роботи програми;
- час знаходження каретки в області визначення датчику.

В даній сторінці можна провести запуск процесу штампування, зупинити процес штампування, та перезавантажити при некоректній роботі програми.

Створюємо сторінку «Конфігурація процесу» (рис. 4.27).

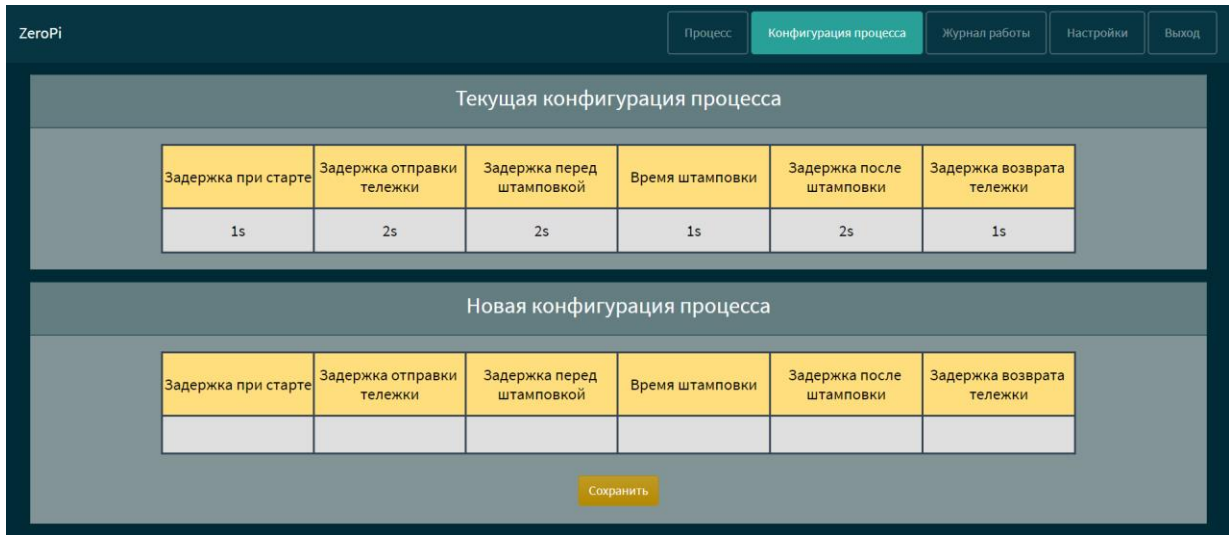


Рисунок 4.27 – Сторінка «Конфігурація процесу»

В даній сторінці користувач зможе виставити наступні конфігурації:

- час затримки при старті процесу;
- час затримки відправки каретки;
- час затримки перед штампуванням;
- час штампування;
- час затримки після штампування;
- час затримки повернення каретки.

Дана сторінка дозволить автоматизувати процес штампування та дасть можливість проводити конфігурацію процесу згідно заданого алгоритму роботи штампування. При конфігурації параметрів у підрозділі «Нова конфігурація процесу» параметри конфігурації повинні бути збережені та виведені на підрозділ сторінки «Поточна конфігурація процесу».

Створюємо наступну сторінку – «Журнал роботи» (рис. 4.28).

В даній сторінці буде відбуватись відображення виконання кожного процесу штампування. При виконанні дій каретки та апарату штампування на даній сторінці відбуватиметься введення номеру процесу, часу завантаження деталі на каретку, час розвантаження деталі, час штампування, тривалість усього процесу, дата виконання та час виконання.

Завдяки даній сторінці у користувача є можливість проаналізувати історію виконання технологічного процесу штампування, визначити недоліки роботи, та покращити ефективність, якість та час виконання штампування.

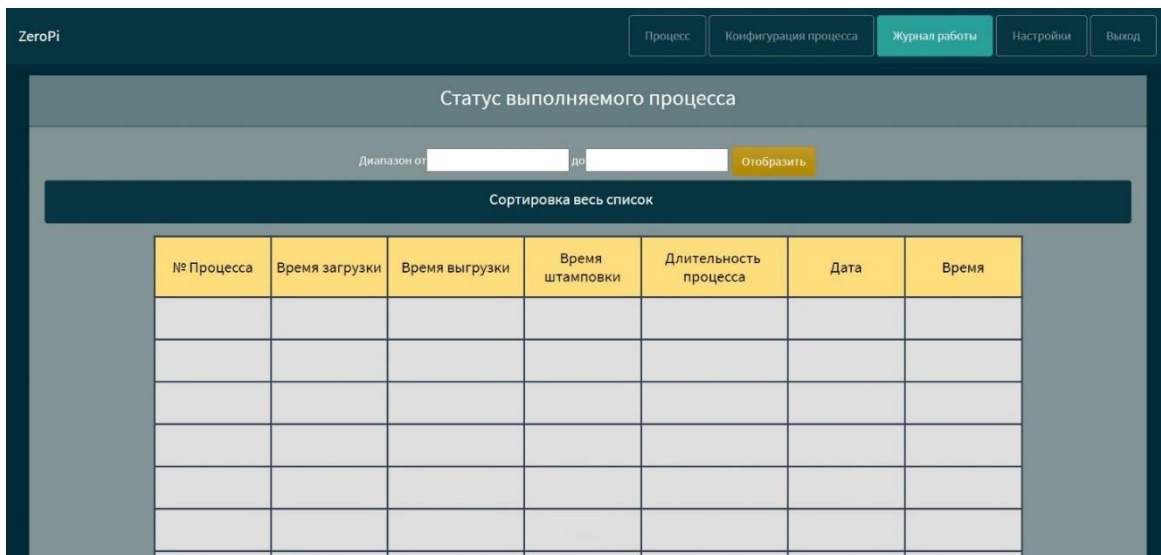


Рисунок 4.28 – Сторінка «Журнал роботи»

Далі необхідне ще одна сторінка «Налаштування» (рис. 4.29).

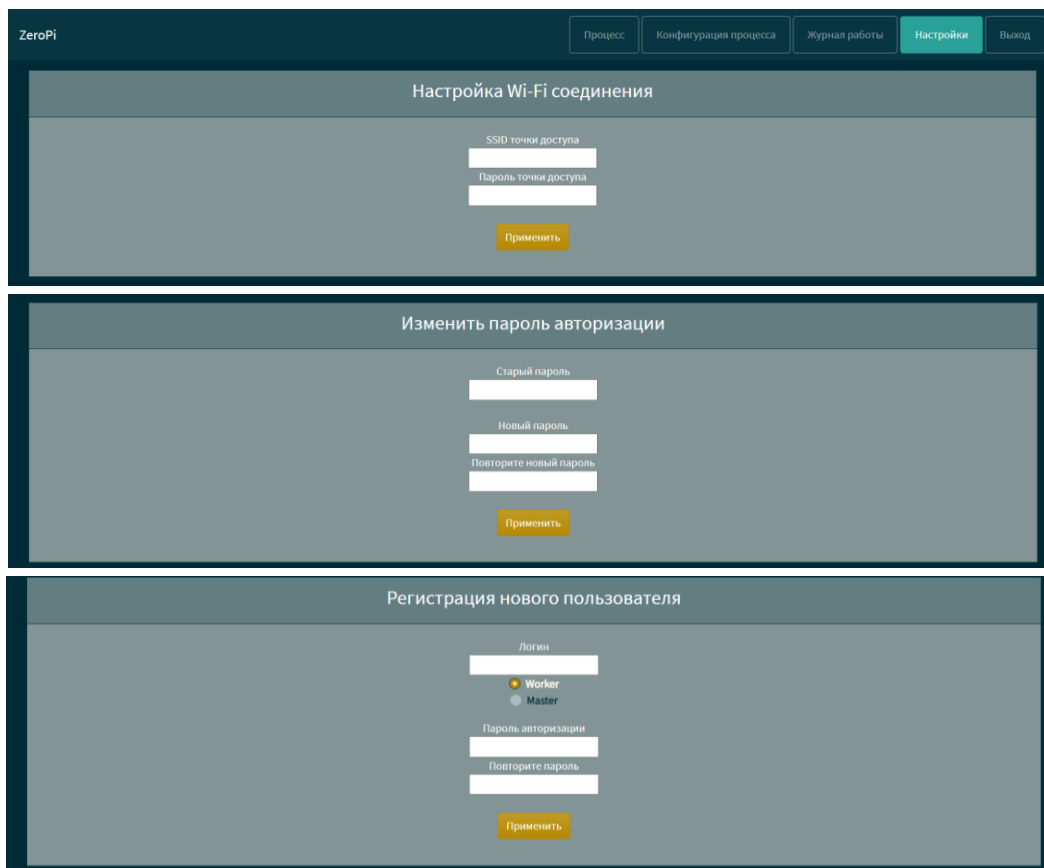


Рисунок 4.29 – Сторінка «Налаштування»



Завдяки даній сторінці конфігурації є можливість змінити налаштування параметрів Wi-Fi з'єднання – змінити параметри точки доступу, змінити свій власний старий пароль на новий та створити нового користувача з рівнем доступу «Worker» або «Master». Створити нового користувача дозволяється лише користувачеві з рівнем «Master». Все застосування змін параметрів є можливим при натисканні кнопки «Застосувати».

#### 4.7 Робота з Modbus та протоколом TCP

Протокол Modbus – найпоширеніший промисловий протокол для взаємодії машини з машиною. Цей стандарт підтримується багатьма виробниками промислового устаткування.

У протоколі Modbus TCP дані кодуються в двійковий формат, і упаковуються в TCP-пакет, для передачі по IP-мережі. Протокол TCP має власний механізм контролю цілісності. У мережі TCP – фізичним каналом передачі даних можуть бути будь-які мережі з інтерфейсом Ethernet, протокол передачі даних, що використовується – TCP/IP, використовуваний TCP-порт: 502. Команда Modbus TCP складається з частини повідомлення Modbus RTU і спеціального заголовка.

Принцип роботи протоколу Modbus TCP: Modbus Poll зі статусом Master направляє повідомлення веденому пристрою, потім до нього через заданий проміжок часу надходить відповідь. Якщо відповіді не було отримано, то сервер автоматично вважає, що підключений пристрій вийшов з ладу або трапилася інша неполадка і сигналізує про це. В ролі сервера зазвичай виступає комп'ютер, який ініціює передачу даних пристроїв по заздалегідь заданому алгоритму.

Для симуляції роботи з промисловим обладнанням та управлінням з протоколом Modbus TCP було обрано програму «ModBus-Slave» (програма для ПК) для веденого та «mbpoll» (консольна програма для ОС Linux Debian) для ведучого пристроїв. Після інсталяції необхідно запустити першу програму яка генерує Slave. З терміналу Linux можна давати запити на зчитування та запис даних обраних регістрів в програмі «ModBus-Slave» (рис. 4.30).

Виконавши підключення можна передавати дані між веденим та ведучим програмами, які симулюють роботу відповідних пристроїв підключених до спільної мережі. Передача даних відбувається у вигляді пакету даних – ідентифікатор обміну (2 байти), ідентифікатор протоколу (2 байти), довжина пакету (2 байти), адреса веденого пристрою (1 байт), номер функції (1 байт) і самі дані, що необхідно передати.

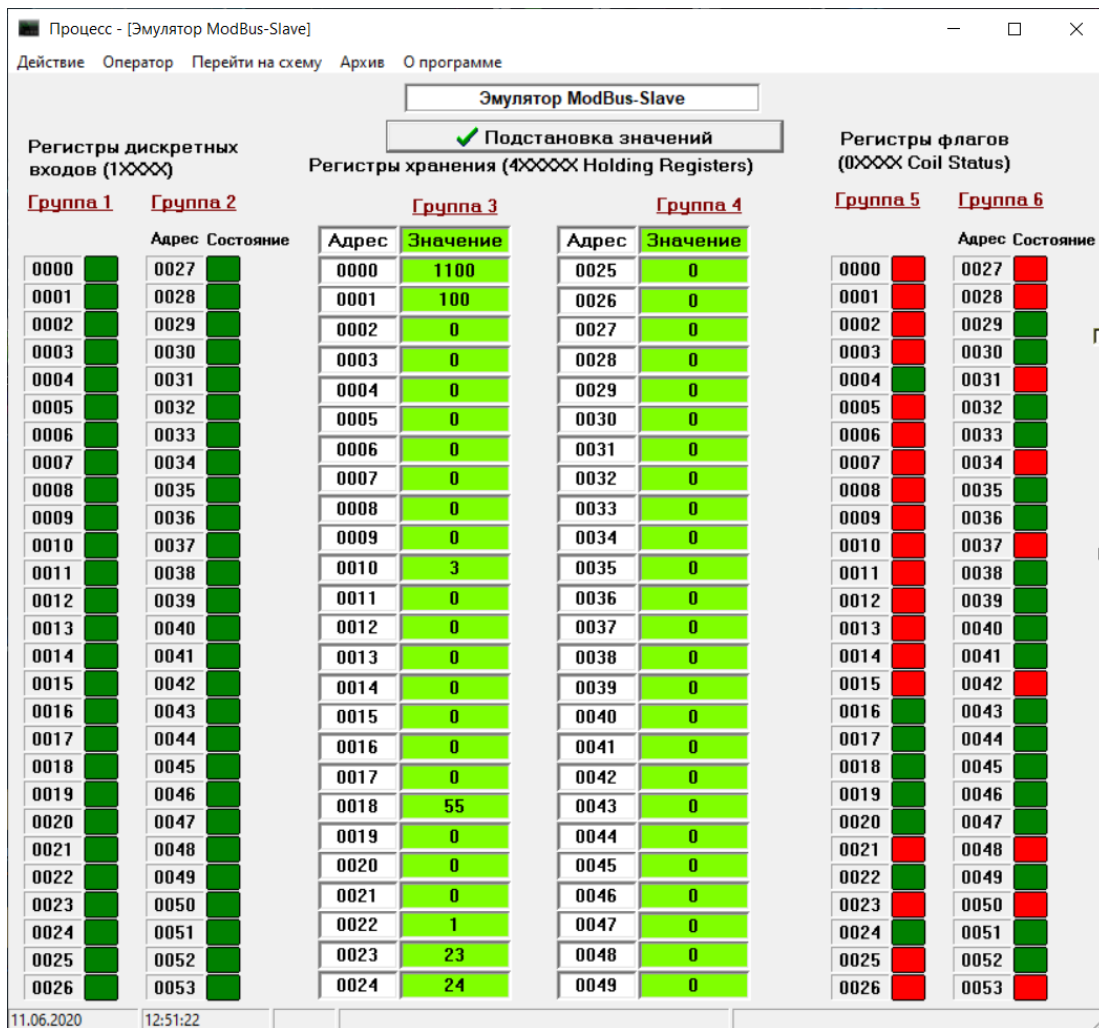


Рисунок 4.30 – Робоче вікно програми ModBus-Slave

Значення блоків пакета ModBus TCP:

- id обміну – найчастіше два нулі. Застосовується, якщо майстер відсилає підлеглому пристрою кілька запитів поспіль без очікування відповіді. При цьому id дозволяє потім зрозуміти якому із запитів яка відповідь відповідає;
- id протоколу – завжди нулі, не застосовується. Поле залишено в якості резерву для майбутніх застосувань;
- довжина пакета – сукупна довжина блоків «адреса», «номер функції» і «дані». Довжина пакета передається двома байтами, першим з яких йде старший;
- адреса веденого пристрою – аналог такого ж блоку в структурі пакета Modbus RTU, але зазвичай не використовується, бо Modbus TCP майстер і відкриває сеанс обміну тільки з одним веденим пристроєм (у якого є IP адреса в мережі TCP/IP);
- поля код функції і дані аналогічні відповідним полям у класичному Modbus-пакеті.

Підключений ведений пристрій отримує з заданим проміжком часу запити від ведучого пристрою майстра. Виконавши запит на зчитування даних можна побачити, яке значення міститься в опитаному регістрі, при зміні значення воно також відображається в обох програмах, що свідчить про передачу даних від пристрою (рис. 4.31).

```
pi@raspberrypi:~$ IP="192.168.1.225"
pi@raspberrypi:~$ reg_v=$(mbpoll -c 2 -1 $IP)
pi@raspberrypi:~$ reg_1=${reg_v##*[1]:}
pi@raspberrypi:~$ reg1=$(echo $reg_1 | cut -c 1-6 | cut -d' ' -f1)
pi@raspberrypi:~$ echo "Данные 1-го регистра: " $reg1
Данные 1-го регистра: 1100
pi@raspberrypi:~$ mbpoll -r 1 $IP -- 11
mbpoll 1.4-12 - FieldTalk(tm) Modbus(R) Master Simulator
Copyright © 2015-2019 Pascal JEAN, https://github.com/epsilon-rt/mbpoll
This program comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
This is free software, and you are welcome to redistribute it
under certain conditions; type 'mbpoll -w' for details.

Protocol configuration: Modbus TCP
Slave configuration...: address = [1]
                       start reference = 1, count = 1
Communication.....: 192.168.1.225, port 502, t/o 1.00 s, poll rate 1000 ms
Data type.....: 16-bit register, output (holding) register table

Written 1 references.

pi@raspberrypi:~$ reg_v=$(mbpoll -c 2 -1 $IP)
pi@raspberrypi:~$ reg_1=${reg_v##*[1]:}
pi@raspberrypi:~$ reg1=$(echo $reg_1 | cut -c 1-6 | cut -d' ' -f1)
pi@raspberrypi:~$ echo "Данные 1-го регистра: " $reg1
Данные 1-го регистра: 11
pi@raspberrypi:~$ █
```

Рисунок 4.31 – Зчитування та відправка даних в терміналі за допомогою програми mbpoll

Розглянемо лабораторний макет платформи штампування із розташуванням датчиків (рис. 4.32).

Основне призначення платформи – доставка об'єкту (деталі, заготовки) із зони завантаження в робочу зону штампування.

За пересуванням рухомої платформи «стежать» датчики.

Лівий та правий датчики кінця призначені для контролю за знаходженням рухомої платформи у крайніх положеннях. Конструкція та кріплення датчиків основних зон макету дозволяє вільно пересувати їх по основі макету.

Датчики завантаження призначений для контролю подачі деталі на каретку.

Датчик рахунку дозволяє враховувати кожну деталь, яку проведено в зону штампування та подачу деталі в зону розвантаження після штампування.

Датчик робочої зони враховує місцеположення деталі та подає сигнал на початок процесу штампування.

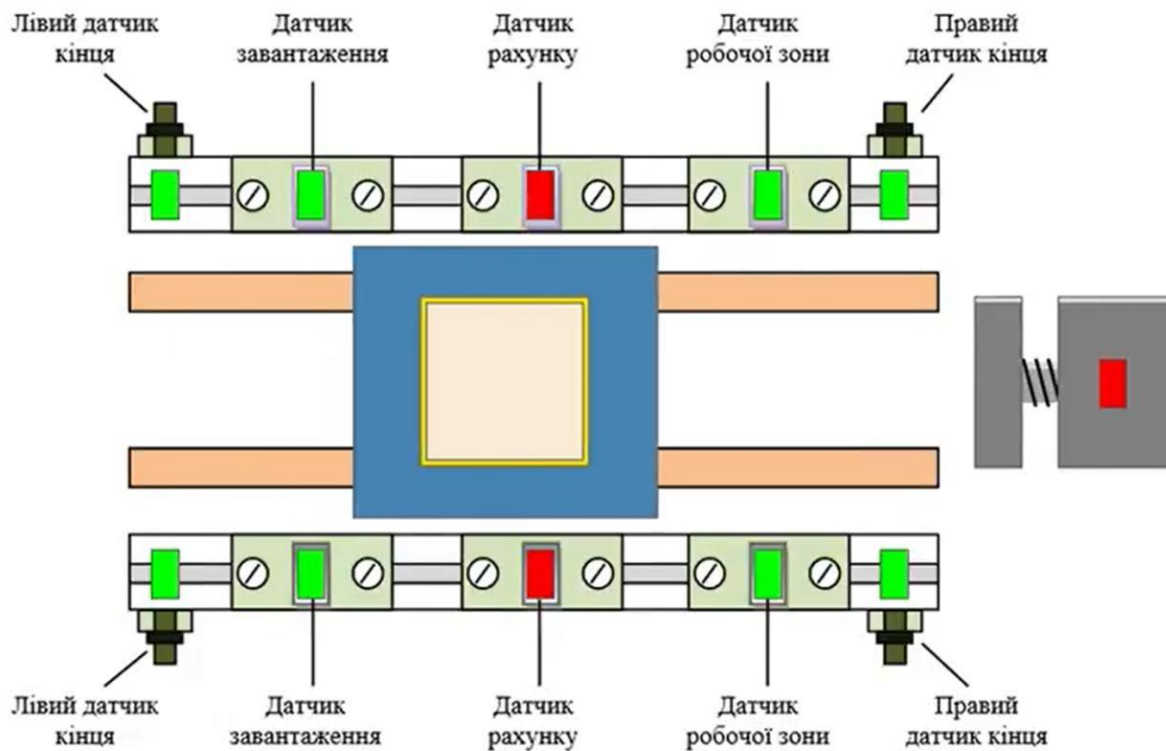


Рисунок 4.32 – Схема розташування датчиків на макеті

Маємо наступні конфігурації датчиків у вигляді заданих регістрів:

- reg1 0 – в зоні датчика немає ні каретки, ні деталі;
- reg1 1 – лівий датчик кінця;
- reg1 11 – лівий датчик кінця + датчик завантаження;
- reg1 10 – датчик завантаження;
- reg1 100 – датчик рахунку;
- reg1 1000 – датчик робочої зони;
- reg1 11000 – датчик робочої зони + правий датчик кінця;
- reg1 10000 – правий датчик кінця.

Та маємо регістри команди руху робочої платформи та апарату штампування:

- reg2 0 – руху немає;
- reg2 1 – рух каретки вправо;
- reg2 10 – рух каретки вліво;
- reg2 100 – штампування деталі;
- reg2 1000 – підняття штамп форми.

## 4.8 Розробка архітектури взаємодії модуля з ПЛК

Модуль відображення інформації в складі системи керування технологічними процесами може бути виконаний в якості функціонально закінченого пристрою. Такий модуль може входити до складу модульного ПЛК та взаємодіяти з ним внутрішньою шиною.

В залежності від вимог до об'єкту автоматизації можна вибрати потрібні модулі, з переліку доступних від виробника, та змішувати їх будь-яким чином. На рис. 4.33 показана структурна схема модульного ПЛК.

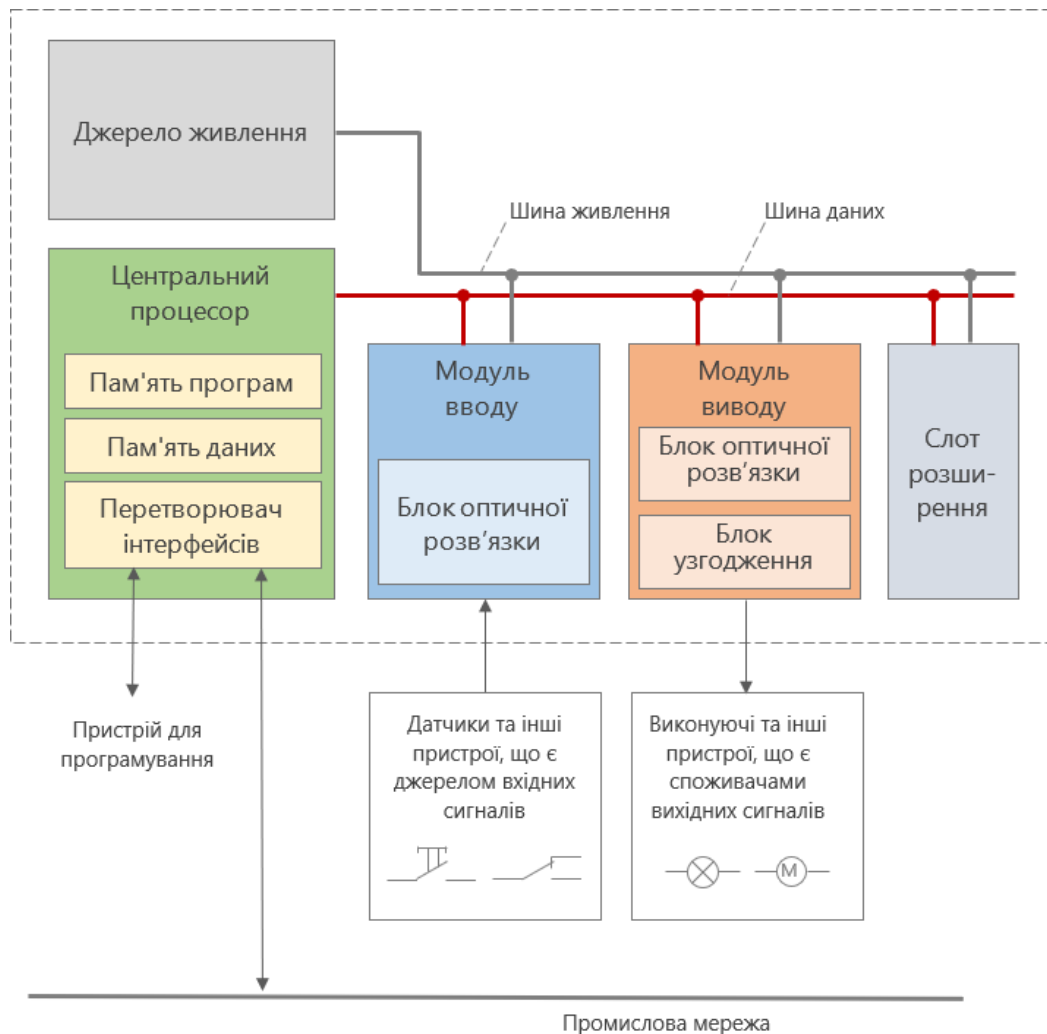


Рисунок 4.33 – Структурна схема модульного ПЛК

Для розробки модуля використано модульний учбовий ПЛК Ntech PLC206-D. Зовнішній вигляд учбового ПЛК NTech PLC206-D показано на рис. 4.34.



Рисунок 4.34 – Зовнішній вигляд учбового ПЛК NTECH PLC206-D

Даний контролер має моноблочну функціонально закінчену конструкцію. В основі пристрою знаходиться мікроконтролер ATmega328. Поєднання з модулями розширення відбувається через інтерфейс RS-485.

Контролер не має вбудованого модуля відображення, тому необхідно розробити такий модуль, який зможе приєднуватися до даного пристрою з метою відображення необхідної технологічної інформації. Виходячи з аналізу функціональних можливостей пристрою було визначено, що він має можливість обмінюватись даними з зовнішніми пристроями через протокол ModBus RTU.

Для функціонального поєднання пристроїв необхідно зробити їх однакового форм-фактору та способу кріплення. Таким чином треба забезпечити розташування елементів на платі, розміри якої не будуть перевищувати 90 мм x 72 мм x 25 мм. Кріплення пристрою буде виконуватися на DIN-рейку.

На рис. 4.35 подана архітектура взаємодії модуля з ПЛК. Обмін даними буде виконуватись через інтерфейс RS-485 за протоколом Modbus. Кнопки керування будуть виконувати функції перемикання режимів роботи пристрою та вибору опцій з меню.

#### 4.9 Розробка структурної схеми модуля

Виходячи з аналізу технічного завдання, а також з розробленої архітектури поєднання з ПЛК, розробимо структурну схему модуля відображення інформації.

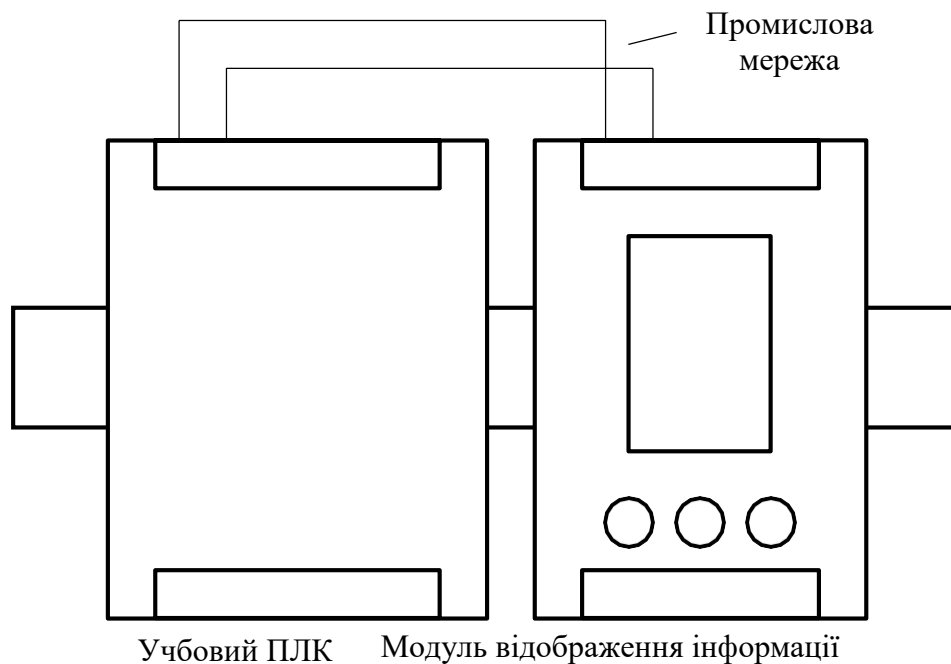


Рисунок 4.35 – Архітектури взаємодії модуля з ПЛК

До складу модуля будуть входити такі блоки:

- TFT-дисплей;
- мікроконтролер;
- блок перетворення інтерфейсів;
- стабілізатор напруги;
- кнопки керування.

На рис. 4.36 показана структурна схема модуля, в яку входять всі зазначені блоки. Модуль живиться від загального блоку живлення 12 В, як і всі модулі, що входять до лабораторного макету. В модулі відображення інформації необхідно передбачити два стабілізатори – на 5 В та 3,3 В.

Стабілізатор на 5 В необхідний для живлення мікроконтролеру та перетворювача інтерфейсів. Стабілізатор на 3,3 В необхідний для живлення TFT-дисплею.

Кнопки керування підключаються безпосередньо до мікроконтролеру. Кнопки мають таке призначення:

- « << » – кнопка вліво;
- « В » – кнопка вибору;
- « >> » – кнопка вправо.

Перетворювач інтерфейсів підключається до мікроконтролеру на лінії послідовного інтерфейсу RX, TX.

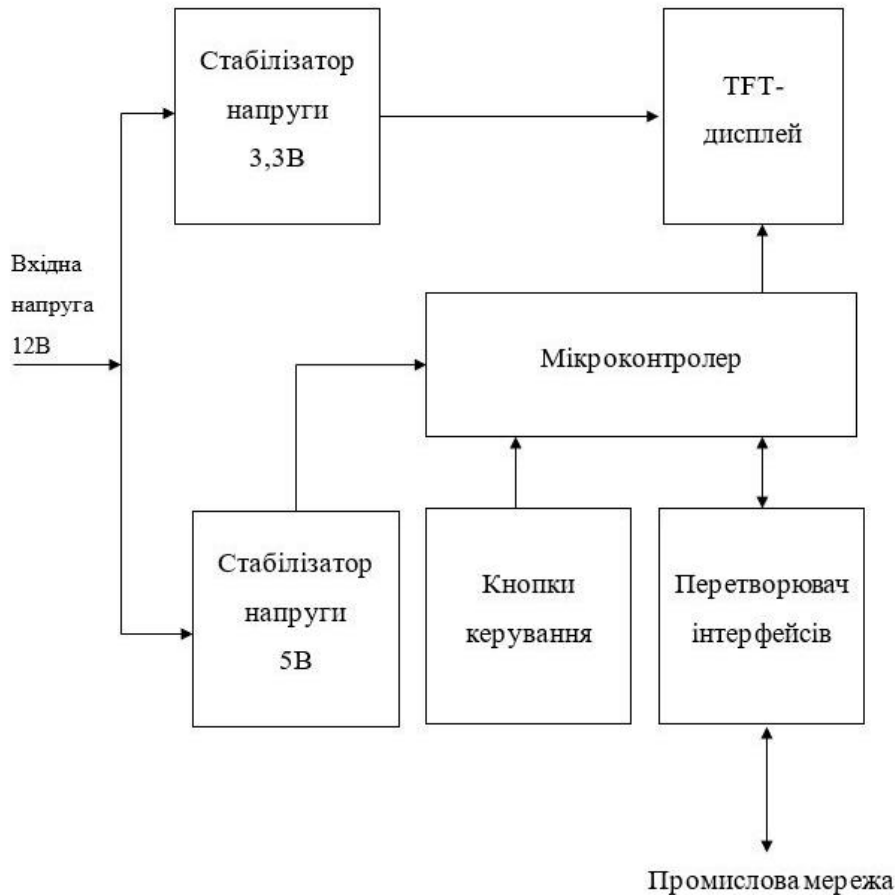


Рисунок 4.36 – Структурна схема модуля відображення інформації

#### 4.10 Опис алгоритмів роботи модуля

Алгоритм роботи модуля відображення інформації показано на рис. 4.37. Робота програми починається з ініціалізації дисплею. Після того, як його буде знайдено, виконується пошук адреси першого екрану, який треба відобразити на дисплеї. Після відображення графічного екрану виконується перевірка внутрішніх регістрів та зчитування з них отриманої від ПЛК інформації.

Далі перевіряються кнопки пристрою та в залежності від натиснутої кнопки обирається потрібний екран для відображення. З натисканням на кнопки змінюється відповідний біт зі зазначеним адресом, як показано на рис. 4.38.

Згідно з рис. 4.39 та протоколом Modbus, уся отримана інформація зберігається, починаючи з адреси 40000. Адрес 40010 виділено для зберігання стану кнопок керування.



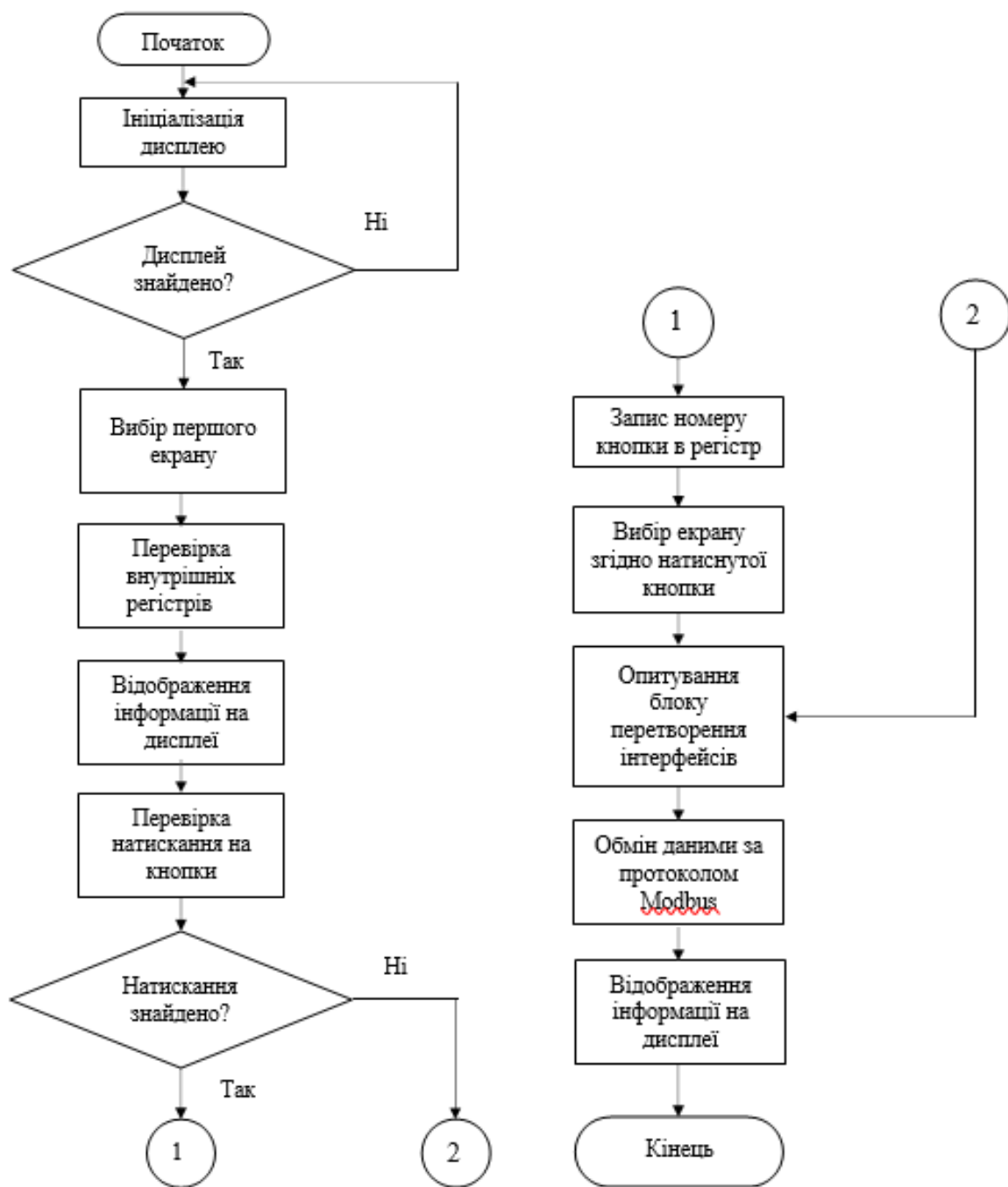


Рисунок 4.37 – Алгоритм роботи модуля відображення інформації

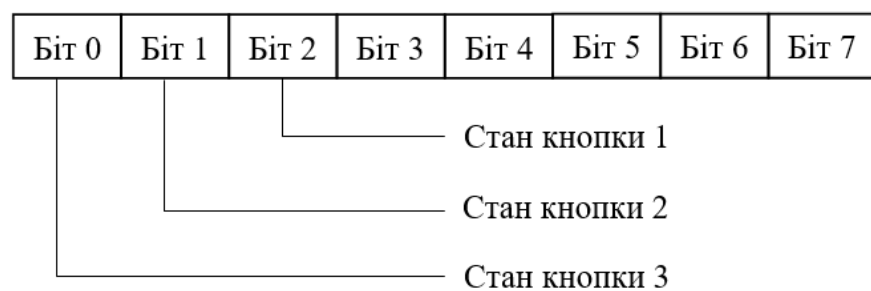


Рисунок 4.38 – Зберігання інформації про натискання кнопки

В модулі, що розробляється, буде використовуватись тільки три типи запитів протоколу Modbus:

- (0x03) – читання значень з декількох регістрів зберігання (Read Holding Registers);
- (0x06) – запис значення в один регістр зберігання (Preset Single Register);
- (0x10) – запис значень в кілька регістрів зберігання (Preset Multiple Registers).

Номер регістра	Адреса регістра HEX	Тип	Назва	Тип
1-9999	0000 до 270E	Читання - запис	Discrete Output Coils	DO
10001-19999	0000 до 270E	Читання	Discrete Input Contacts	DI
30001-39999	0000 до 270E	Читання	Analog Input Registers	AI
40001-49999	0000 до 270E	Читання - запис	Analog Output Holding Registers	AO

Рисунок 4.39 – Розподіл адресів пам'яті в пристрої згідно протоколу Modbus

Ця функція читання регістрів (03) дозволяє отримати бінарний вміст 16-ти розрядних регістрів, що адресуються пристрою. Адресація дозволяє отримати за кожен запит до 125 регістрів. Деякі пристрої мають обмеження на максимальну кількість регістрів, одержуваних за один запит. Пристрій, якому адресується, посилає у відповідь свою адресу, код виконаної функції і інформаційне поле.

Інформаційне поле містить два байти, що описують кількість байт даних, що повертаються. Довжина кожного регістру даних – два байти. Перший байт даних в повідомленні є старшим байтом регістру, другий – молодшим. Пристрій зазвичай обслуговує запит в кінці свого робочого циклу, дані у відповіді відображають вміст регістрів в даний момент. Деякі пристрої обмежують кількість регістрів, переданих за один запит. У цьому випадку для отримання, більшого числа регістрів, необхідно виконати кілька послідовних запитів.

#### 4.11 Типові закони управління та регулятори

Під законом управління розуміють алгоритм, згідно з яким пристрій управління (регулятор) формує вплив, який подається на вхід об'єкта управління.

Законом управління називається функціональна залежність вихідної величини пристрою управління від його вхідної величини, складена без урахування динамічних запізнень елементів пристрою управління.

На рис. 4.40 подано класичну структурну схему системи управління з одиничним негативним зворотним зв'язком.

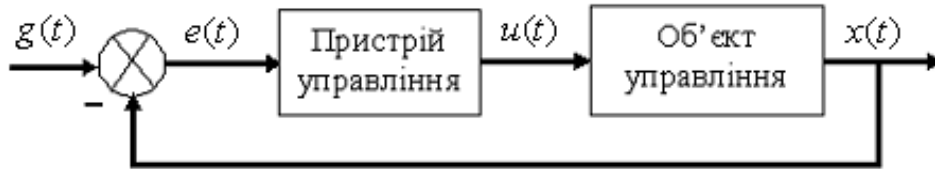


Рисунок 4.40 – Структурна схема САУ

Задача синтезу системи автоматичного управління ставиться таким чином: при заданому об'єкті управління потрібно синтезувати (побудувати) пристрій управління, при якому система задовольняє заданим вимогам до її якості. У такій постановці задачі структура ПУ (регулятора) і всієї системи задана, необхідно, виходячи із заданих вимог до системи, визначити параметри ПУ і якщо треба параметри корегуючої ланки.

Вид передатної функції пристрою управління визначає закон управління. На сьогодні у промисловості розрізняють чотири основні закони керування: пропорційний, інтегральний, пропорційно-інтегральний, пропорційно-диференціальний, пропорційно-інтегро-диференціальний.

Пропорційний закон управління (П закон) визначається наступним рівнянням пристрою управління:

$$u(t) = k \cdot e(t). \quad (4.1)$$

Передавальна функція пристрою управління при П законі управління дорівнює:

$$W_p(s) = k. \quad (4.2)$$

Регулятор з таким законом управління називається пропорційним регулятором або П-регулятором.

При інтегральному законі управління (І закон) пристрій управління виробляє сигнал, пропорційний інтегралу від помилки:

$$u(t) = k \int_0^t e(t) dt. \quad (4.3)$$

Передавальна функція пристрою управління при I законі управління дорівнює:

$$W_p(s) = \frac{k}{s}. \quad (4.4)$$

Регулятор з таким законом управління називається інтегральним регулятором або I-регулятором.

В порівнянні з П-законом I-закон управління забезпечує астатизм системи, проте динамічні властивості системи з I-законом управління звичайно гірше, ніж у системи з П-законом. Введення інтеграла в закон управління, як правило, підвищує коливальність системи і у деяких випадках може зробити систему нестійкою, якщо не вживати спеціальних заходів.

При пропорційно-інтегральному законі управління (ПІ закон) пристрій управління виробляє суму двох сигналів: пропорційного помилці і пропорційного інтегралу від помилки:

$$u(t) = K_1 e(t) + K_2 \int_0^t e(t) dt. \quad (4.5)$$

Передавальна функція пристрою управління при ПІ законі управління дорівнює:

$$W_p(s) = K_1 + \frac{K_2}{s}. \quad (4.6)$$

Регулятор з таким законом управління називається пропорційно-інтегральним регулятором або ПІ-регулятором.

Динамічні властивості у системи з ПІ-законом управління краще, ніж у системи з I-законом (за інших рівних умов). За своїми властивостями пропорційно-інтегральна система у перехідному режимі наближається до системи із пропорційним управлінням, а у сталому режимі подібна до системи з інтегральним управлінням.

При пропорційно-диференціальному законі управління (ПД закон) пристрій управління виробляє суму двох сигналів: пропорційного помилці і пропорційного похідної від помилки:

$$u(t) = K_1 e(t) + K_2 \frac{de(t)}{dt}. \quad (4.7)$$

Передавальна функція пристрою управління при ПД законі управління дорівнює:

$$W_y(s) = K_1 + K_2 s. \quad (4.8)$$

Регулятор з таким законом управління називається пропорційно-диференціальним регулятором або ПД-регулятором.

Введення у закон управління похідної від похибки збільшує швидкість реакції системи на зміну вхідного впливу, підвищує її швидкодію, при цьому зменшується похибка системи у динамічному режимі, покращуються її динамічні властивості.

При пропорційно-інтегро-диференціальному законі управління (ПІД закон) пристрій управління виробляє сигнал, який дорівнює сумі трьох складових: пропорційного помилці, пропорційного інтегралу від помилки і пропорційного похідної від помилки.

$$u(t) = K_1 e(t) + K_2 \int_0^t e(t) dt + K_3 \frac{de(t)}{dt}. \quad (4.9)$$

Передавальна функція пристрою управління при ПІД законі управління дорівнює:

$$W_y(s) = K_1 + \frac{K_2}{s} + K_3 s. \quad (4.10)$$

Регулятор з таким законом управління називається пропорційно-інтегро-диференціальним регулятором або ПІД-регулятором

Введення в закон управління інтегральної складової робить систему астатичною та покращує якість системи в сталому режимі, але оказує дестабілізуючий вплив (тобто може зробити систему нестійкою) та погіршує якість системи в перехідному режимі.

Введення в закон управління диференціальної складової оказує стабілізуючий вплив (тобто може зробити нестійку систему стійкою) та покращує якість системи в перехідному режимі, не оказуючи впливу на якість системи в сталому режимі.

Визначимо, при яких типових законах управління статична помилка системи (рис. 4.41) буде дорівнювати нулю, якщо задана передатна функція об'єкта:

$$W_0(s) = \frac{1}{s + 1}.$$

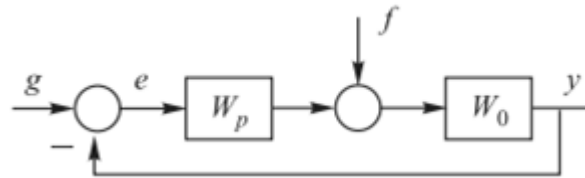


Рисунок 4.41 – Структурна схема системи

Статична помилка буде дорівнювати нулю, якщо система буде астатичною щодо задаючого впливу і обурення. А для цього потрібно, щоб регулятор містив інтегруючу ланку. Тому шуканими законами управління будуть пропорційно-інтегральний закон і пропорційно-інтегро-диференційний закон.

Визначимо, при яких типових законах управління помилка від задаючого впливу системи (рис. 4.41) буде дорівнювати нулю за умови, якщо

$$W_0(s) = \frac{1}{s^2(s+1)}, g(t) = at \text{ або } f(t) = b.$$

Оскільки помилка від задаючого впливу і обурення мають вигляд:

$$e_{g\infty}(t) = C_{g0}at + C_{g1}a, e_{f\infty} = C_{f0}b,$$

то помилка буде дорівнювати нулю, якщо  $C_{g0} = C_{g1} = 0$  та  $C_{f0} = 0$ . Отже, система повинна бути астатичною з астатизмом 2-го порядку щодо задаючого впливу і з астатизмом 1-го порядку щодо обурення. Так як об'єкт включає дві послідовно з'єднаних інтегруючих ланки, система буде астатичною з астатизмом не менше 2-го порядку щодо задаючого впливу при будь-якому типовому законі управління. Однак вона буде астатичною щодо обурення тільки при ІІІ-законі і ІІД-законі. При ІІІ-законі передатна функція розімкнутої системи:

$$W(s) = W_p(s)W_0(s) = \frac{k_p p + k_i}{s^3(s+1)},$$

а характеристичне рівняння має вигляд:

$$\lambda^4 + \lambda^3 + k_p \lambda + k_i = 0.$$

У цьому рівнянні коефіцієнт при  $\lambda^2$  дорівнює нулю і необхідна умова стійкості не виконується. Тому система при ІІІ-законі структурно нестійка.

При ПІД-законі передатна функція розімкнутої системи:

$$W(s) = W_p(s)W_0(s) = \frac{k_d s^2 + k_p s + k_i}{s^3(s + 1)}$$

та характеристичне рівняння має вигляд:

$$\lambda^4 + \lambda^3 + k_d \lambda^2 + k_p \lambda + k_i = 0.$$

Визначник Гурвіца 3-го порядку:

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 1 & k_p & 0 \\ 1 & k_d & k_i \\ 0 & 1 & k_p \end{vmatrix} = k_p k_d - k_i - k_p^2.$$

Відповідним вибором параметрів регулятора можна зробити наступне, при ПІД-законі система структурно стійка і шуканим законом управління є ПІД-закон.

Розрахуємо оптимальні параметри ПІД-регулятора з використанням Matlab.

Побудуємо Simulink-модель САУ відповідно до заданої схеми, наприклад як на рис. 4.42, помістивши у вікно моделі блоки Step (з бібліотеки Sources), Sum (з бібліотеки Math Operations), Transfer Fcn (з бібліотеки Continuous), PID Controller (з бібліотеки Simulink Extras/Additional Linear), Signal Constraint (з бібліотеки Simulink Resonse Optimization).

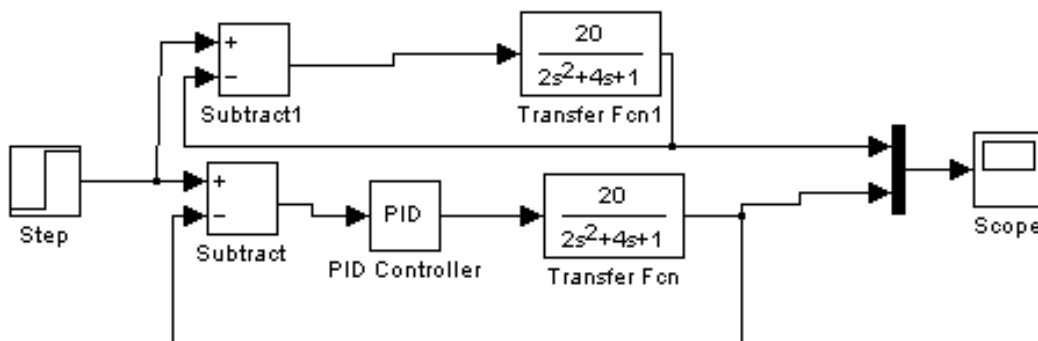


Рисунок 4.42 – Simulink-модель САУ

Змінюючи параметри ПІД-регулятора (рис. 4.43), можна отримати П, ПІ, І та ПІД закони управління за перехідною характеристикою системи. Для цього

необхідно задавати значення коефіцієнтів підсилення пропорційної, інтегруючої та диференціюючої складової відповідно до варіанта реалізації.

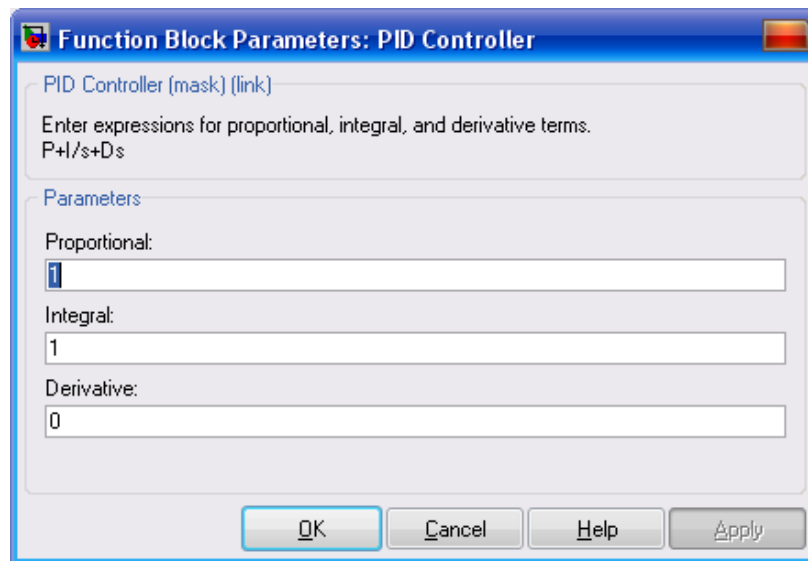


Рисунок 4.43 – Налаштування блоку PID Controller для дослідження законів регулювання

Для прикладу дослідження оптимізації ПІД-регулятора розглянемо схему на рис. 4.44.

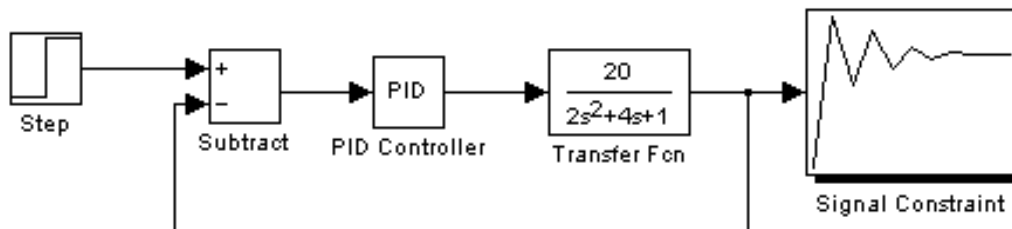


Рисунок 4.44 – Simulink-модель САУ для оптимізації ПІД-регулятора

Для ініціалізації у командному вікні Matlab змінних  $K_p=1$ ;  $K_i=1$ ;  $K_d=0$ , необхідно перейти до командної строки Matlab та ввести команду:

```
>> Kp=1; Ki=0; Kd=1.
```

Налаштування параметрів блоку PID Controller (рис. 4.45), здійснюється вводом у поле параметра Proportional змінної  $K_p$ , у полі Integral –  $K_i$ , а у полі Derivative –  $K_d$ .



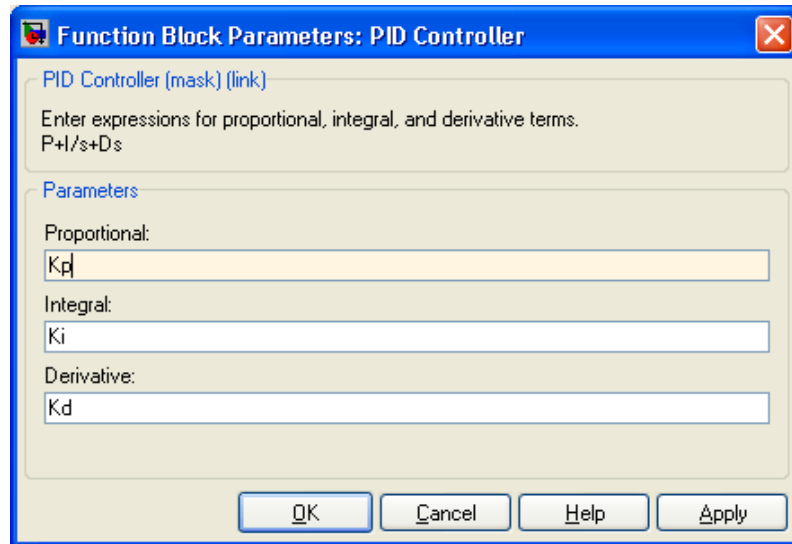


Рисунок 4.45 – Налаштування блоку PID Controller

Після подвійного натискання лівої клавіші миші на блоці Signal Constraint відкривається вікно блоку параметрів (рис. 4.46).

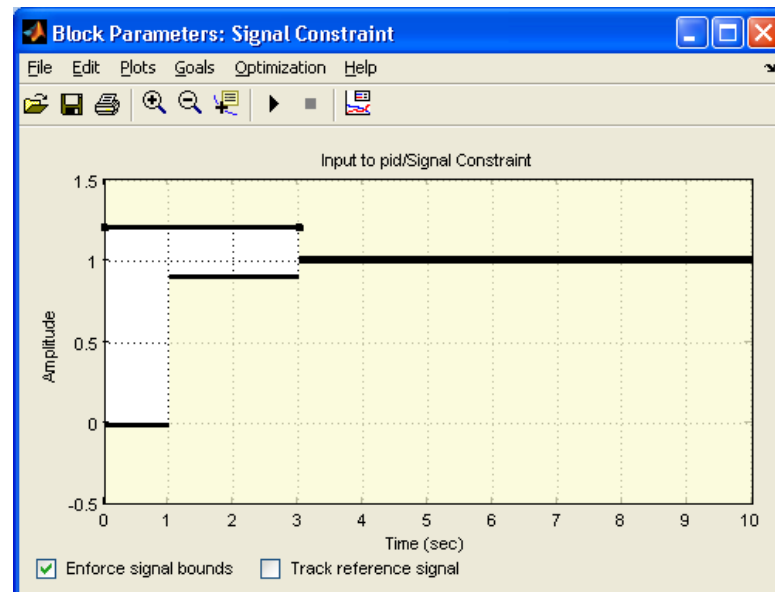


Рисунок 4.46 – Налаштування параметрів системи

У вікні налаштування параметрів можна задати границі для побудови перехідної характеристики досліджуваної системи із заданими прямими показниками якості. Для цього встановлюється коридор, в межах якого має знаходитися вхідний сигнал блоку Signal Constraint відповідно до вимог технічного завдання. Це можна зробити, пересуваючи за допомогою миші чорні

лінії. Натиснути кнопку «Add...» (рис. 4.47), у вікні вибору параметрів, що з'явилося, потрібно виділити відповідну змінну та натиснути кнопку Ок. Таким чином у якості параметрів оптимізації вказати всі змінні ПІД-регулятора.

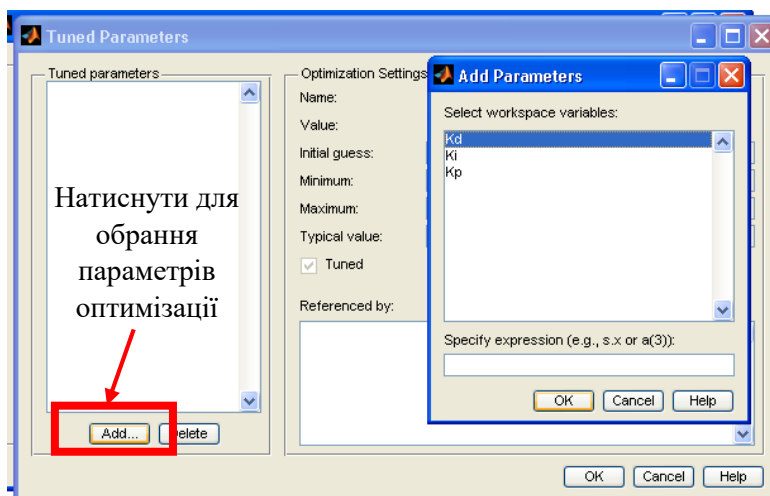


Рисунок 4.47 – Процес вибору параметрів для оптимізації ПІД-регулятора

Для налаштування параметрів розрахунку необхідно обрати пункт «Optimization/Simulation Options...» та у вкладці «Optimization Options» вказати кількість ітерацій для розрахунку рівною 3 (рис. 4.48).

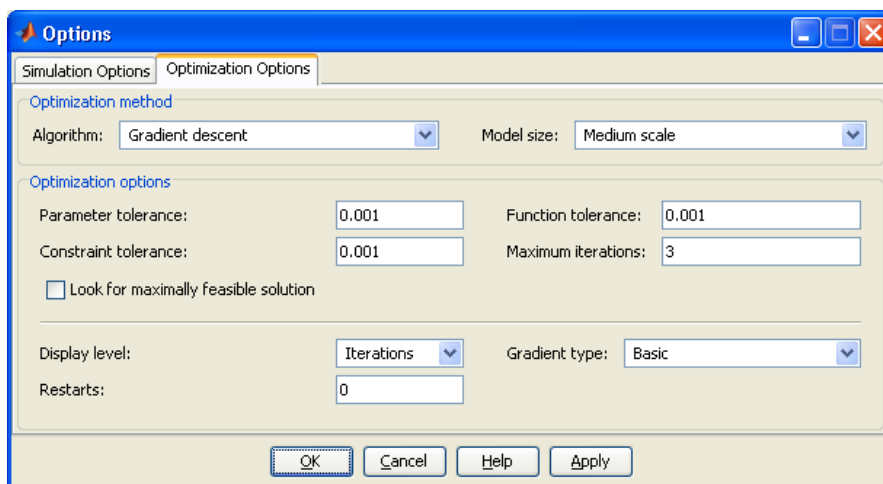


Рисунок 4.48 – Налаштування параметрів розрахунку оптимальних параметрів регулятора

Результатами проведеної оптимізації будуть обчислені оптимальні параметри ПІД-регулятора (рис. 4.49) та графіки розрахованих перехідних характеристик (рис. 4.50).

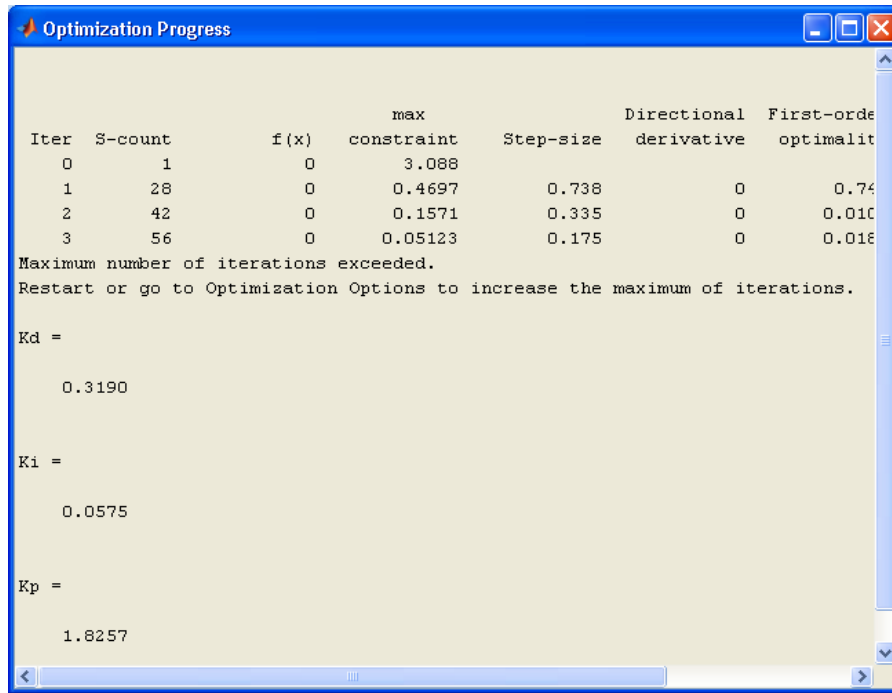


Рисунок 4.49 – Результати оптимізації параметрів ПД-регулятора

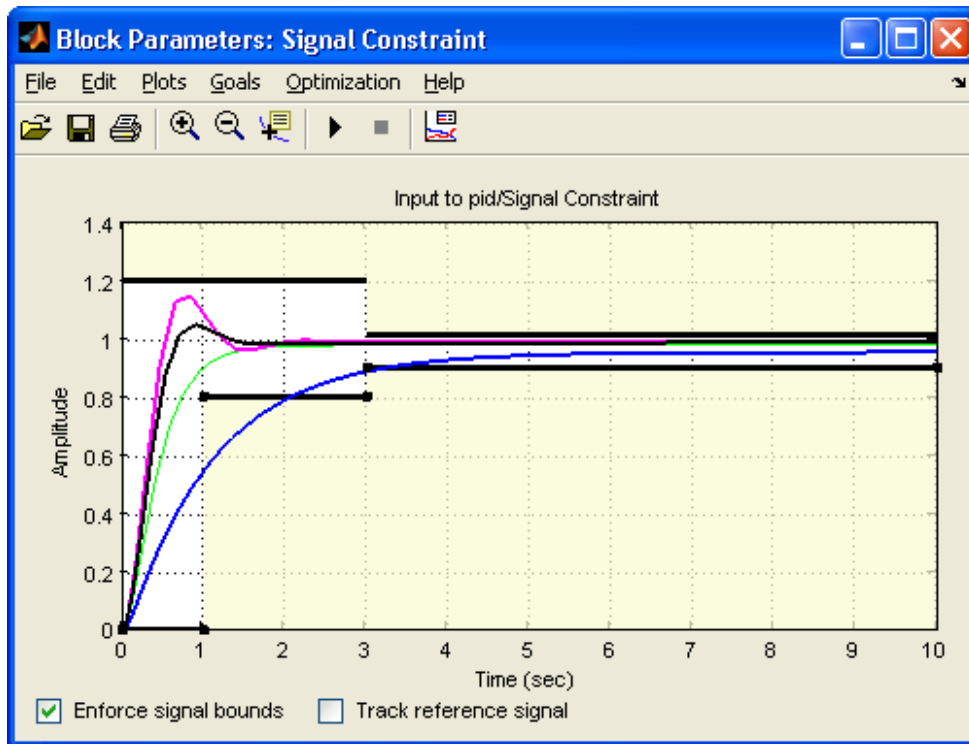


Рисунок 4.50 – Результати ітераційного розрахунку оптимальних параметрів регулятора

При використанні Matlab версії вище 2012 дещо змінився інтерфейс і методика підбору оптимальних параметрів ПІД регулятора, але суть залишилася та ж – необхідно підключити блок в Simulink-моделі (рис. 4.51) послідовно перед об'єктом управління в пряму ланцюга зворотного зв'язку додати ланку ПІД-регулятора.

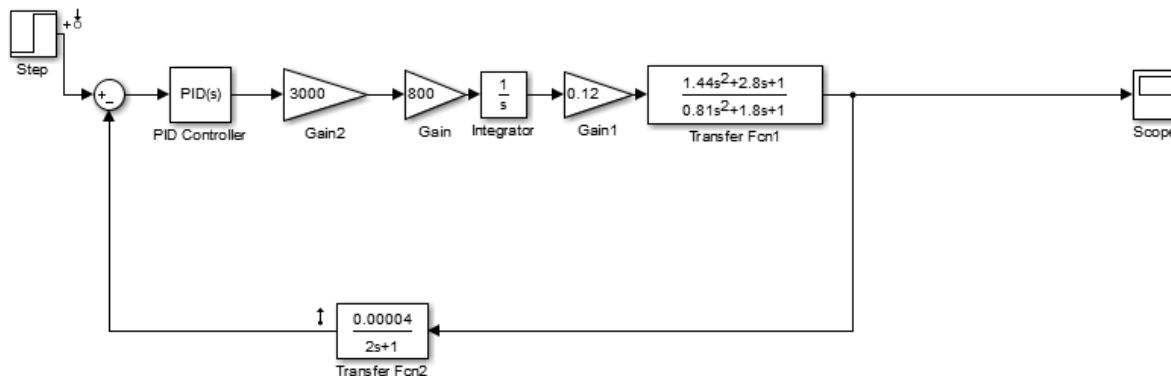


Рисунок 4.51 – Модель з ПІД-регулятором

Далі відкрити подвійним натисканням блок ПІД-регулятора, де задати параметри для моделювання (рис. 4.52) і натиснути кнопку Tune... Результат роботи PID-Tuner подано на рис. 4.53.

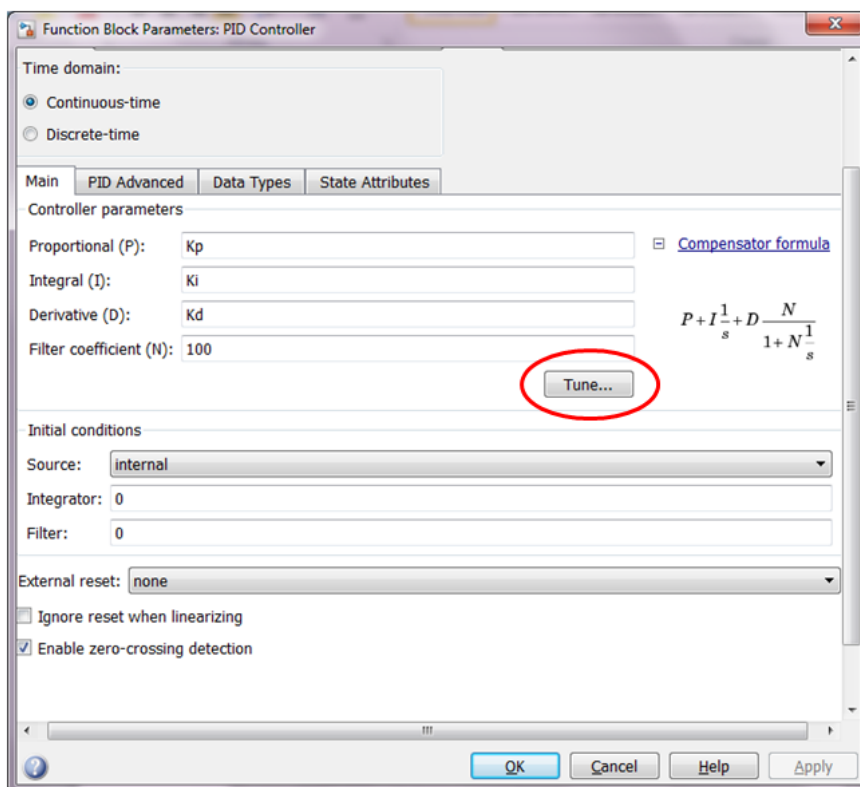


Рисунок 4.52 – Налаштування блоку ПІД-регулятора

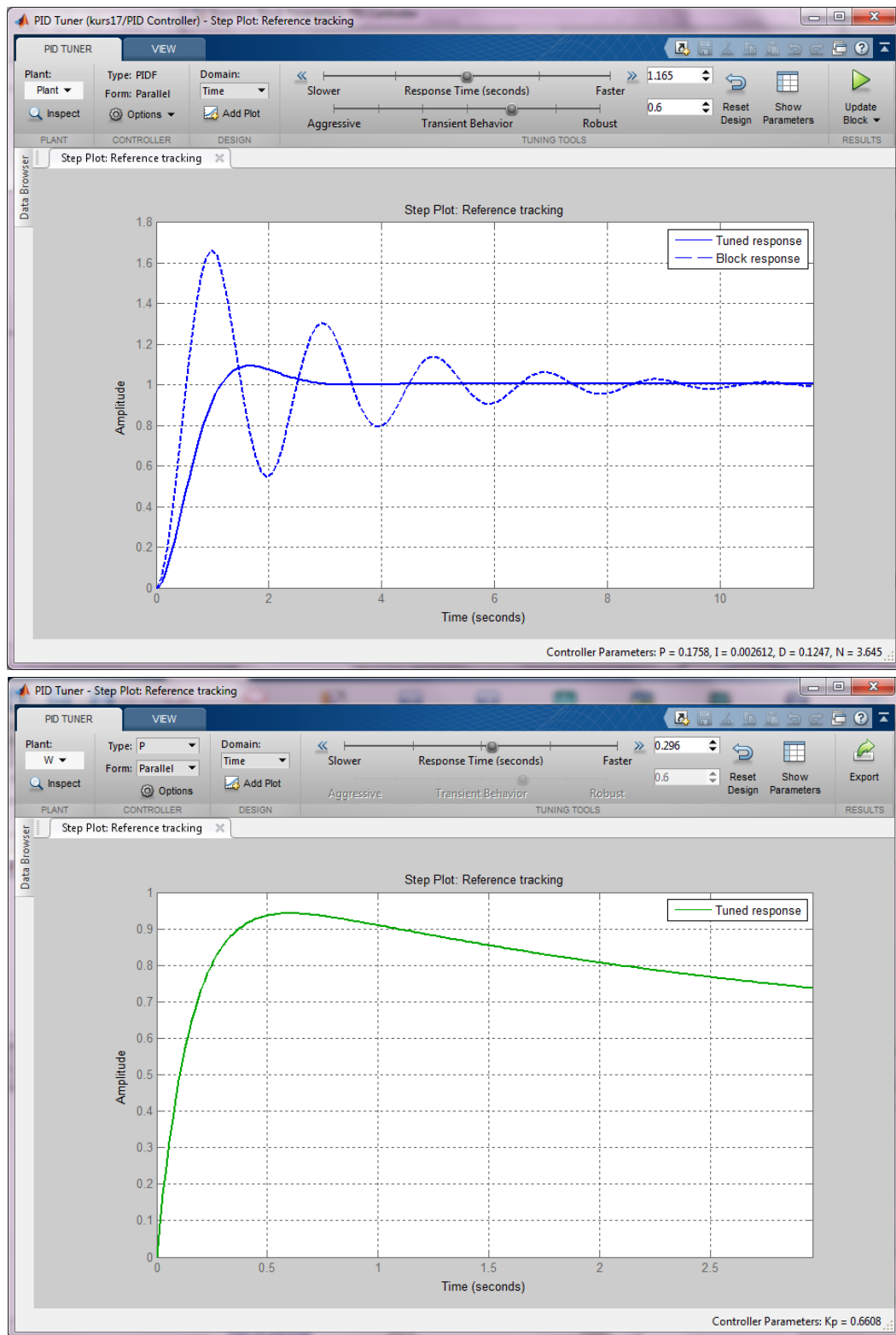


Рисунок 4.53 – Результат роботи PID-Tuner

Також можливо задати передавальну функцію в командному режимі й використовувати засоби PID-Tuner. Таким чином можна проводити ручне налаштування ПД-регулятора за описаною вище методикою.

#### 4.12 Синтез коригуючих пристроїв за логарифмічними частотними характеристиками

Закон управління вибирається з урахуванням можливості забезпечення стійкості і заданих вимог до якості системи. Зазвичай задаються вимоги до якості окремо в перехідному режимі і в сталому режимі. Проте не завжди вдається задовольнити заданим вимогам тільки вибором параметрів регуляторів, тоді в систему вводять коригуючі ланки. При цьому виникає задача синтезу коригуючої ланки. Виділяють три типу корегуючих ланок: послідовні, паралельні, зворотні.

Послідовні коригуючі ланки вводяться в систему послідовно з іншими ланками. На рис. 4.54 подана структурна схема системи з послідовною корегуючою ланкою.

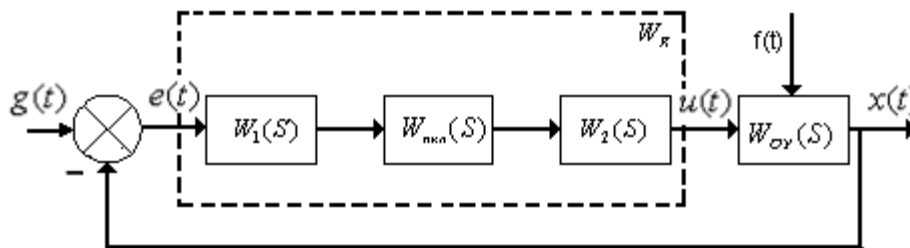


Рисунок 4.54 – Структурна схема системи з послідовною корегуючою ланкою

Передавальні функції  $W_1(s)$  та  $W_2(s)$  представляють собою передавальні функції заданих частин регулятора,  $W_{ккл}(s)$  – передавальна функція послідовної коригуючої ланки,  $W_{обь}(s)$  – передавальна функція об'єкта управління.

Передавальна функція регулятора з послідовною корегуючою ланкою:

$$W_{R1}(s) = W_1(s) \cdot W_2(s) \cdot W_{ккл}(s). \quad (4.11)$$

Спосіб корекції за допомогою послідовних коригуючих ланок не вимагає складних розрахунків і простий в практичній реалізації. Тому він знайшов широке застосування, особливо при корекції систем, в яких використовується електричний сигнал у вигляді напруги постійного струму, величина якого функціонально пов'язана з сигналом неузгодженості. Однак, послідовні коригувальні ланки не послаблюють впливу змін параметрів елементів системи на її показники якості. Тому послідовні коригувальні ланки рекомендується застосовувати в системах, в яких елементи мають досить стабільні параметри.

Паралельні коригуючі ланки вводяться в систему паралельно з іншими ланками. На рис. 4.55 подана структурна схема системи з паралельною корегуючою ланкою.

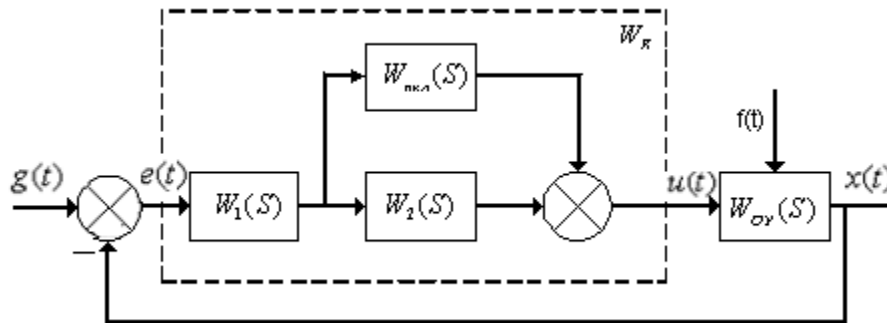


Рисунок 4.55 – Структурна схема системи з паралельною корегуючою ланкою

Передавальна функція регулятора з паралельною корегуючою ланкою:

$$W_{R2}(s) = W_1(s) \cdot (W_2(s) + W_{nkl}(s)). \quad (4.12)$$

Корекція систем управління за допомогою паралельних корегуючих ланок ефективна, коли потрібно формувати складні закони управління з введенням похідних і інтегралів від сигналу помилки. Прикладом цього можуть служити розглянуті раніше типові регулятори.

Зворотні коригуючі ланки вводяться в ланцюг регулятора і охоплюють будь-які його ланки. Зворотні зв'язки можуть бути позитивними і негативними, жорсткими і гнучкими. На рис. 4.56 подана структурна схема системи зі зворотною корегуючою ланкою.

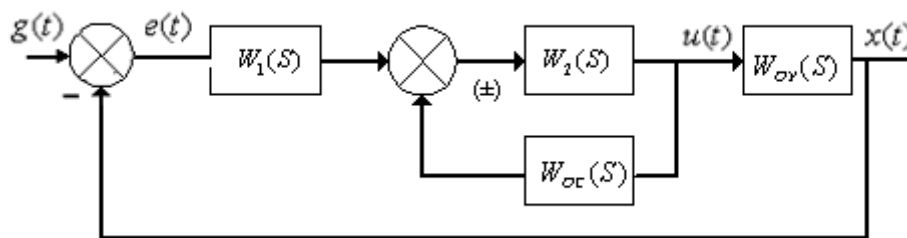


Рисунок 4.56 – Структурна схема системи зі зворотною корегуючою ланкою

Передавальна функція регулятора зі зворотною корегуючою ланкою:

$$W_{R3}(s) = W_1(s) \cdot \frac{W_2(s)}{1 \pm W_2(s)W_{oc}(s)}. \quad (4.13)$$

Корекція місцевим зворотним зв'язком використовується в системах автоматичного управління найбільш часто. Коригувальний зворотний зв'язок утворює в системі внутрішній контур крім контуру, утвореного головним зворотним зв'язком. У переважній більшості випадків використовуються негативні коригувальні зворотні зв'язки, однак можуть застосовуватися також і позитивні зворотні зв'язки, наприклад в комбінованих системах з компенсацією динамічних помилок.

Негативний коригувальний зворотний зв'язок дозволяє істотно послаблювати вплив зміни параметрів елементів і нелінійностей, які входять до місцевого контуру. Тому місцевим зворотним зв'язком бажано охоплювати ті елементи корегуємої системи, які в процесі роботи можуть змінювати свої параметри і мають високі значення коефіцієнтів передачі.

Найбільш поширений на практиці є частотний метод синтезу послідовної корегуючої ланки за допомогою логарифмічних частотних характеристик. Логарифмічна амплітудна частотна характеристика розімкненої системи управління однозначно визначається її передавальною функцією і відповідно навпаки, за логарифмічною амплітудною частотною характеристикою можна однозначно скласти передавальну функцію розімкненої системи.

Отже, на основі вимог, що пред'являються до системи можна сформуванати бажаний вид ЛАЧХ, якій буде відповідати необхідна передавальна функція системи і закон управління. На основі цього взаємозв'язку і побудований метод синтезу систем автоматичного управління за логарифмічним частотним характеристикам.

Процес синтезу системи управління включає в себе наступні етапи.

- будується ЛАЧХ заданої (нескорегованої) системи;
- будується бажана ЛАЧХ по заданих показниках якості перехідного процесу;
- будується ЛАЧХ послідовної корегуючої ланки шляхом графічного вираховування ЛАЧХ заданої системи з ЛАЧХ бажаної системи. Передавальна функція послідовної корегуючої ланки записується по виду її ЛАЧХ.

При побудові бажаної ЛАЧХ бажаної САУ виділяють три області: область низьких частот, область середніх частот і область високих частот. Вид ЛАЧХ в кожній з областей по різному впливає на якість системи. У області низьких частот вид ЛАЧХ визначає точність роботи системи в сталих режимах. Область середніх частот визначає динамічні властивості системи (швидкодія, коливальність). Вид ЛАЧХ в області високих частот практично мало впливає на якість системи.



Побудову бажаної ЛАЧХ починають з області середніх частот в такій послідовності. По заданих величинах  $\sigma_{max}$  і  $t_p$  визначають частоту зрізу  $\omega_{зр}$  за значеннями у табл. 4.5.

Таблиця 4.5– Таблиця параметрів для розрахунку  $\omega_{зр}$

$\sigma_{max}, \%$	10	15	20	25	30	35	40
$t_p \cdot \omega_{зр} / \pi$	5,0	4,4	4,0	3,6	3,2	3,0	2,8
$L_1, \text{дБ}$	18,0	15,0	13,5	12,0	11,0	10,5	10,0
$\Delta\varphi, \text{гр}$	85	80	65	55	45	40	35

На вісь абсцис наноситься частота зрізу  $\omega_{зр}$  і через неї проводиться пряма лінія з нахилом мінус 20 дБ/дек (рис. 4.57).

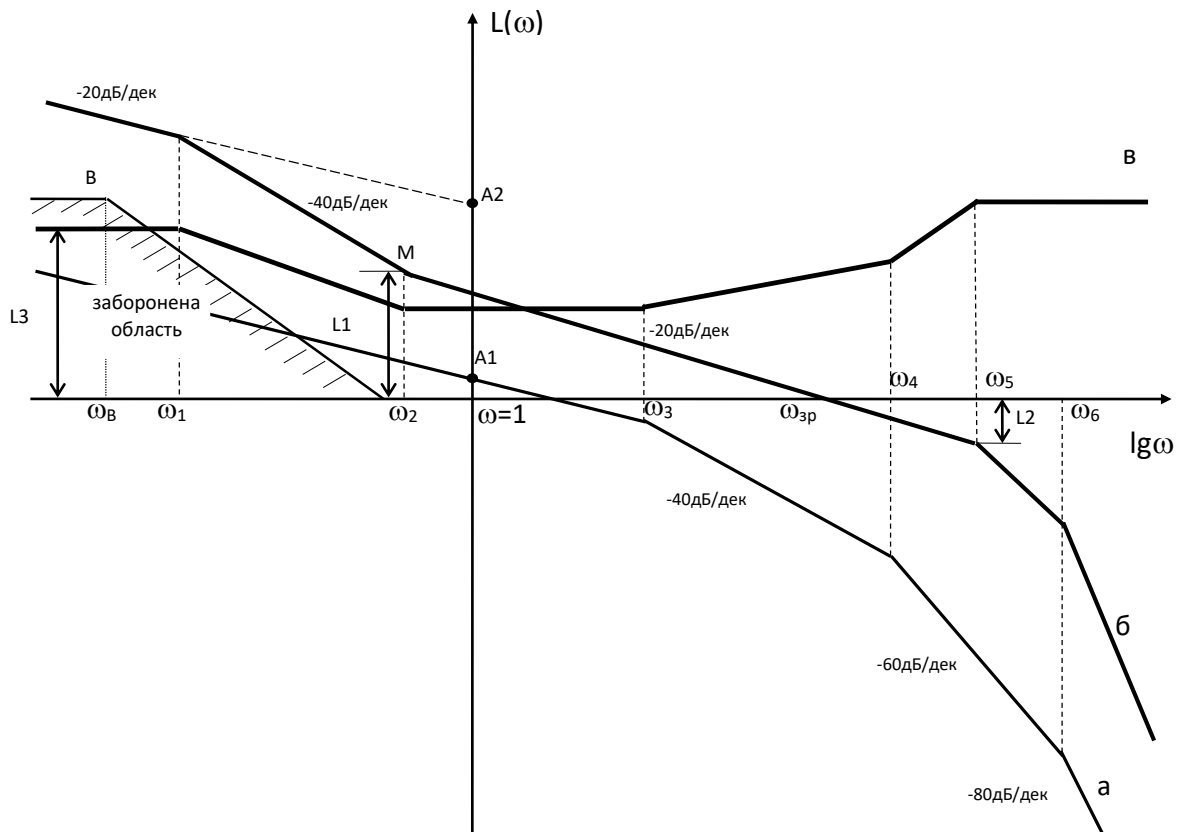


Рисунок 4.57 – Частотні характеристики системи: а) ЛАЧХ заданої системи; б) ЛАЧХ бажаної системи; в) ЛАЧХ послідовної корегуючої ланки.

Частота  $\omega_2$ , що обмежує область середніх частот бажаної ЛАЧХ зліва визначається величиною відрізка  $L_1$ , яку знаходять в залежності від заданої величини  $\sigma_{max}$  по табл. 4.5. Частоту  $\omega_3$ , що обмежує область середніх частот праворуч, визначають величиною відрізка  $L_2$ , при цьому  $|L_2| \geq L_1$ .

У області високих частот бажану ЛАЧХ будують у вигляді прямолінійних відрізків з нахилом, кратним 20 дБ/дек. (тобто 40, 60, 80 і т.д.), таким чином, щоб різниця характеристик бажаної і заданої в межі при  $\omega \rightarrow \infty$  складала пряму лінію, паралельну осі частот.

У області низьких частот бажану ЛАЧХ будують таким чином. Визначають величину

$$L_{A2} = 20 \lg K_c, \quad (4.14)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт посилення бажаної системи:

$$K_c = \frac{\omega_{0max}}{x_{max}}.$$

На графік наносять точку  $A_2$  з координатами  $(1; L_{A2})$  і через неї проводять пряму лінію з нахилом мінус 20 дБ/дек. Від точки М, що обмежує область середніх частот зліва, проводимо пряму лінію з нахилом мінус 40 дБ/дек до перетину з низькочастотною частиною бажаної ЛАЧХ.

Якщо в завданні на проектування системи вказана максимально допустима помилка  $X_m$  при умові, що вхідний сигнал може змінюватися з максимальною кутовою швидкістю  $\omega_{0max}$  і з максимальним кутовим прискоренням  $\varepsilon_{0max}$ , то для виконання цих вимог необхідно, щоб бажана ЛАЧХ не попадала в заборонену область.

Заборонена область будується таким чином. Відмічаємо на кресленні точку В  $(\lg \omega_B; L_B)$ :

$$\omega_B = \frac{\varepsilon_{0max}}{\omega_{0max}}, \quad L_B = 20 \lg \frac{\omega_{0max}^2}{\varepsilon_{0max} X_{max}}.$$

Від точки В праворуч проводять лінію з нахилом мінус 40 дБ/дек. Якщо бажана ЛАЧХ попадає в заборонену область, то це означає, що при даному коефіцієнті  $K_c$  задана точність стеження не може бути забезпечена і потрібно її збільшити, тобто графічно підняти бажану ЛАЧХ так, щоб вона не попадала в заборонену область.

ЛАЧХ послідовної корегуючої ланки будується шляхом графічного вирахування з ЛАЧХ бажаної системи ЛАЧХ заданої системи.

По виду ЛАЧХ записуються передавальні функції бажаної системи та послідовної корегуючої ланки. Коефіцієнт посилення корегуючої ланки  $K_{кр}$  визначають з співвідношення:

$$20 \lg K_{кр} = L_3.$$

Далі проводиться моделювання системи і визначення показників якості. Моделювання є останньою й однією з найважливіших задач синтезу систем автоматичного управління, що дозволяє імітувати поведінку реальної системи в різних умовах експлуатації, передбачити аварійні ситуації або підвищення навантаження на елементи системи без ризику їхнього руйнування. Моделювання перехідних процесів є обов'язковим етапом дослідження умовно стійких і нестійких систем. Воно заміняє експерименти з реальними дорогими об'єктами, які в робочих умовах завжди повинні функціонувати стійко, надійно й безпечно. По отриманим характеристикам розраховують прямі показники якості системи в перехідному режимі й коефіцієнти помилок системи в сталому режимі та переконуються, що отримані показники якості задовольняють вимогам.

Якщо передавальна функція послідовної корегуючої ланки визначена викладеним вище способом та задана система має передавальну функцію  $W_3$  і складається з двох ланок з передавальними функціями  $W_{31}$  і  $W_{32}$  і паралельна коректуюча ланка включається паралельно першій ланці. Передавальна функція розімкненої системи з паралельною корегуючою ланкою має вигляд:

$$W = (W_{31} + W_{кз пар}) \cdot W_{32}. \quad (4.15)$$

З умови рівності цієї передавальної функції бажаної передавальної функції  $W_{жс} = W_{кз пас} \cdot W_3$  для передавальної функції корегуючої ланки одержуємо:

$$W_{кз пар} = W_{31}(W_{кз пас} - 1). \quad (4.16)$$

Якщо корегуюча ланка включена в зворотний зв'язок, то передавальна функція розімкненої системи:

$$W = \frac{W_{31}W_{32}}{1+W_{31}W_{кз обр}}. \quad (4.17)$$

З рівності цієї передавальної функції бажаною для передавальної функції зворотної корегуючої ланки одержуємо:

$$W_{кз\ обр} = \frac{1 - W_{кз\ нос}}{W_{з1} W_{з2}} \quad (4.18)$$

Розглянемо вирішення завдання синтезувати послідовну корегуючу ланку так, щоб замкнута система з одиничним від'ємним зворотнім зв'язком задовольняла прямим показникам якості: час регулювання  $t_p = 0,2$  с, перерегулювання  $\sigma_{max} = 20\%$ . Передатна функція її розімкненої системи дорівнює:

$$W(s) = \frac{500}{s(0,033s + 1)(0,0125s + 1)}$$

Для цього побудуємо ЛАЧХ заданої розімкненої системи (рис. 4.58). Для цього відмітимо точку  $w = 1$  с<sup>-1</sup>,  $L(w) = 20 \lg k = 20 \lg 500 \approx 54$  дБ. Оскільки в знаменнику змінна  $s$  у першому ступені, то нахил першої асимптоти  $-v \cdot 20 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}} = -20$  дБ/дек.

Знайдемо частоти спряження асимптотичної ЛАЧХ:

$$w_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0,033} = 30 \text{ с}^{-1};$$

$$w_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{0,0125} = 80 \text{ с}^{-1}.$$

На першій частоті спряження  $w_1$  нахил асимптоти зміниться на (-20) дБ/дек і дорівнюватиме (-40) дБ/дек. На другій частоті спряження  $w_2$  нахил асимптоти знову зміниться на (-20) дБ/дек і дорівнюватиме (-60) дБ/дек.

Асимптотична ЛАЧХ заданої розімкнутої системи подана на рис. 4.58.

Побудуємо бажану ЛАЧХ (на рис. 3.21 –  $L_{\text{баж}}$ ).

З табл. 4.5 для  $\sigma_{max}$  визначаємо, що  $\frac{t_p \cdot w_c}{\pi} = 4,0$ , звідки  $w_c = \frac{4,0 \cdot \pi}{t_p} \approx 63$ .

Нанесемо на вісь абсцис частоту зрізу  $w_c$  і проведемо через неї пряму лінію з нахилом (-20) дБ/дек (рис. 4.58,  $L_{\text{баж}}$ ).

Знайдемо  $\omega_2$  та  $\omega_3$ . За таблицею 4.5 знайдемо, що  $L_1 = 13,5$  дБ. Частота, для якої ордината дорівнює 13,5 дБ, і буде  $\omega_2 = 9,2$  с<sup>-1</sup>. Оберемо  $L_2 = 15$  дБ, тоді  $\omega_3 = 400$  с<sup>-1</sup>.

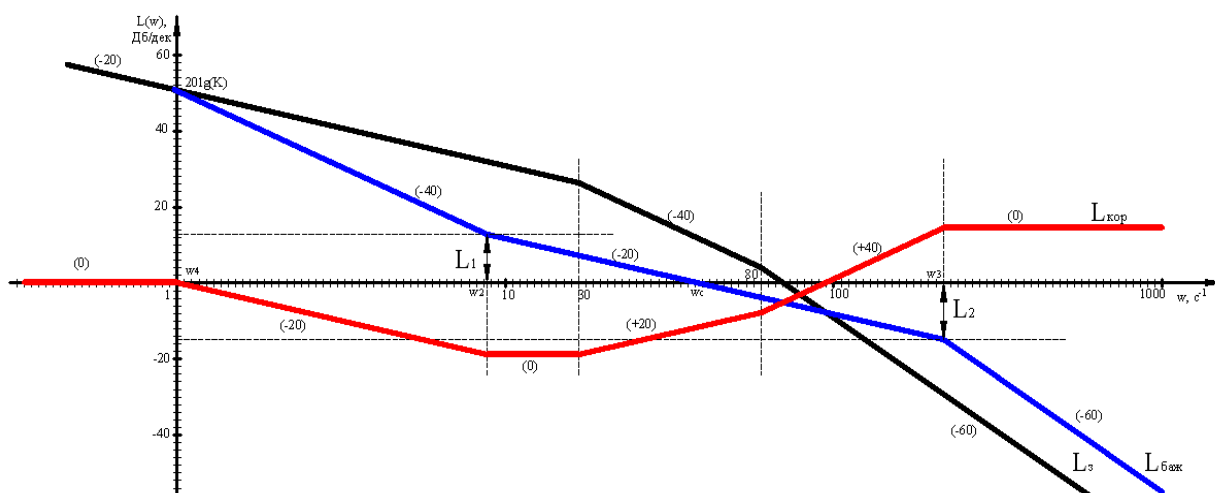


Рисунок 4.58 – Асимптотичні ЛАЧХ системи

З'єднаємо низькочастотну асимптоту з асимптотою у середньочастотній області лінією з нахилом (-40) дБ/дек.

Високочастотну асимптоту будуюмо паралельною високочастотній асимптоті заданої ЛАЧХ, таким чином з нахилом (-60) дБ/дек.

За видом бажаної ЛАЧХ можна записати передатну функцію:

$$W_{\text{баж}}(s) = \frac{500 \cdot (0,109s + 1)}{s(1,124s + 1)(0,025s + 1)^2}$$

ЛАЧХ послідовної коригуючої ланки будуюмо шляхом графічного вирахування ЛАЧХ заданої системи з ЛАЧХ бажаної (на рис. 4.58  $L_{\text{кор}}$ ), тобто

$$L_{\text{кор}} = L_{\text{баж}} - L_3$$

За видом ЛАЧХ коригуючої ланки записуємо передавальну функцію:

$$W_{\text{кор}}(s) = \frac{(0,109s + 1)(0,033s + 1)(0,0123s + 1)}{(1,124s + 1)(0,025s + 1)^2}$$

Проводимо моделювання отриманої системи з послідовною коригуючою ланкою з метою одержання прямих показників якості. Отримані показники якості відповідають заданим.

#### 4.13 Синтез лінійної неперервної системи автоматичного управління

Синтез системи управління це спрямований розрахунок системи, що має кінцевою метою, по-перше, відшукування раціональної структури системи і, по-друге, визначення оптимальних значень параметрів її окремих ланок за умови забезпечення ряду вимог, які впливають з призначення системи і забезпечення її характеристик .

Таким чином, синтез можна трактувати як задачу оптимізації і розглядати таку побудову системи управління, при якому для заданих умов роботи забезпечується оптимум обраного критерію якості роботи системи. Якщо характеристики задаючих впливів і впливів обурення відомі, то систему можна спроектувати як оптимальну, забезпечивши мінімальне значення сумарної середньоквадратичної помилки.

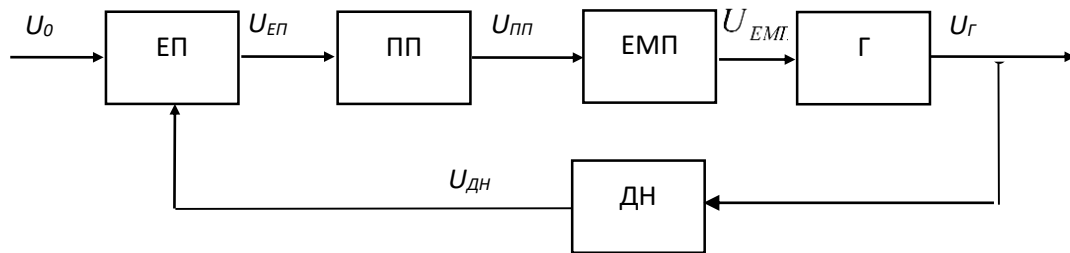
Синтез можна трактувати як інженерну задачу, яка зводиться до побудови системи автоматичного управління, яка забезпечує виконання технічних вимог до неї. Один з можливих способів опису вимог до системи, яка проектується – це завдання показників якості роботи системи. Це може бути зроблено, якщо відомі характеристики задаючих впливів і впливів обурення. Детерміновані впливи повинні бути задані як функції часу або їх похідні. Для випадкових впливів повинні бути відомі їх кореляційні функції або спектральні щільності. При такій постановці синтез системи зводиться до вибору структурної схеми, за допомогою якої можна забезпечити показники якості роботи системи не гірше заданих.

Іноді в поняття інженерного синтезу вкладається ще більш вузький зміст і розглядається синтез, який має на меті визначення виду і параметрів коригувальних засобів, які необхідно додати до постійної частини системи - об'єкта управління з регулятором, щоб забезпечити необхідні динамічні якості. Забезпечення необхідної якості управління досягається формуванням певного закону управління  $u(t)$ . Для цього необхідно, щоб при відомій передавальній функції об'єкта управління  $W_{oy}(s)$  регулятор мав певну передавальну функцію  $W_R(s)$  і, відповідно, передавальна функція розімкненої системи має бути:

$$W(s) = W_R(s) \cdot W_{oy}(s).$$

При інженерному синтезі системи управління необхідно забезпечити, по-перше, необхідну точність, по-друге, прийнятний характер перехідних процесів.

Наприклад, лінійна неперервна система автоматичного управління регулювання напруги (рис. 4.59) містить у собі елемент порівняння (ЕП), попередній підсилювач (ПП), електромашинний підсилювач (ЕМП), генератор (Г) і дільник напруги (ДН) у ланцюзі негативного зворотного зв'язка.



$U_0$  – вхідне значення напруги,  $U_{ЕП}$  – напруга на виході ЕП,  
 $U_{ПП}$  – напруга на виході попереднього підсилювача,  
 $U_{ЕМП}$  – напруга на виході електромашинного підсилювача,  
 $U_{Г}$  – напруга на виході генератора,  $U_{ДН}$  – напруга на виході ДН

Рисунок 4.59 – Функціональна схема САУ

Елементи САУ описуються наступними рівняннями:

– елемент порівняння:

$$U_{ЕП} = U_0 - U_{ДН},$$

– попередній підсилювач:

$$T_{ПП} \frac{dU_{ПП}}{dt} + U_{ПП} = K_{ПП} U_{ЕП},$$

– електромашинний підсилювач:

$$T_2^2 \frac{d^2 U_{ЕМП}}{dt^2} + T_1 \frac{dU_{ЕМП}}{dt} + U_{ЕМП} = K_{ЕМП} U_{ПП},$$

– генератор:

$$T_{Г} \frac{dU_{Г}}{dt} + U_{Г} = K_{Г} U_{ЕМП},$$

– дільник напруги:

$$U_{ДН} = K_{ДН} U_{Г},$$

Значення параметрів САУ подано у табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Значення параметрів САУ

$T_{\text{ПП}}$	$K_{\text{ЕМП}}$	$T_1$	$T_2$	$K_{\Gamma}$	$T_{\Gamma}$	$K_{\text{ДН}}$	$\sigma$	$t_{\text{пер}}$
0,14	5,5	0,6	0,015	5	0,25	1/20	20	2,5

Для заданої системи необхідно: обчислити передавальні функції всіх елементів системи; побудувати структурну схему нескорегованої системи; визначити передавальні функції розімкнутої й замкнутої системи регулювання, а також їхні характеристичні поліноми; побудувати область стійкості замкнутої системи методом D-розбивки по невідомому коефіцієнту підсилення; оцінити стійкість розімкнутої системи по кореням характеристичного рівняння, стійкість замкнутої системи, використовуючи критерій Гурвіца, Михайлова й Найквіста, визначити запаси стійкості по амплітуді й фазі; побудувати ЛАЧХ і ЛФЧХ вихідної розімкнутої системи, сформулювати бажану ЛАЧХ із умови забезпечення необхідних значень швидкодії, перерегулювання й точності; побудувати ЛАЧХ коригуючої ланки, знайти її передавальну функцію; побудувати структурну схему системи з коригуючою ланкою; знайти позиційну, швидкісну помилку та помилку по прискоренню скорегованої системи, запаси стійкості по амплітуді й фазі; зрівняти їх з аналогічними характеристиками вихідної системи; розрахувати перехідну характеристику, змоделювати САУ і порівняти результати; оцінити якість управління в скорегованій системі.

Необхідно скласти структурну схему досліджуваної системи та розрахувати передатні функції елементів. Елемент порівняння на структурній схемі зображується у вигляді круга, розділеного на сектор. Сектор, на який подається величина із зворотним (негативним) знаком, затемняють або перед відповідним входом ставлять знак мінус.

Передатна функція попереднього підсилювача дорівнює:

$$W_{\text{ПП}}(p) = \frac{K_{\text{ПП}}}{0,14p + 1}$$

Передатна функція електромашинного підсилювача дорівнює:

$$W_{\text{ЕМП}}(p) = \frac{5.5}{0,000225p^2 + 0,6p + 1}$$



Передатна функція генератора дорівнює:

$$W_{\Gamma}(p) = \frac{5}{0,25p + 1}$$

Передатна функція дільника напруги дорівнює:

$$W_{\text{дн}}(p) = \frac{1}{20}$$

Структурна схема заданої системи зображена на рис. 4.60.

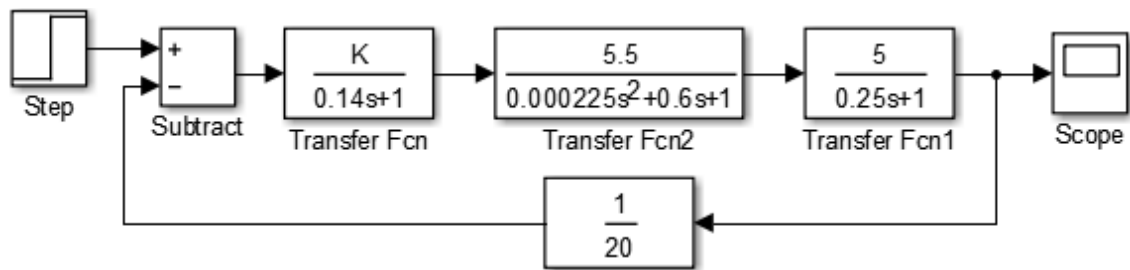


Рисунок 4.60 – Структурна схема заданої системи

За допомогою структурної схеми можемо розрахувати передатні функції замкненої та розімкненої систем. На рис. 4.61 подано фрагмент програмного коду пакету прикладних програм MatLab для визначення передатних функцій замкнутої та розімкнутої систем.

```
>> W1=tf([4],[0.14 1])
W2=tf([5.5],[0.000225 0.6 1])
W3=tf([5],[0.25 1])
W4=tf([1],[20])
Wraz=series(W1,W2)
Wraz=series(Wraz,W3)
Wraz=series(Wraz,W4)
Wzamk=W1*W2*W3
Wzamk=feedback(Wzamk,W4)
```

Рисунок 4.61 – Фрагмент програмного коду пакету прикладних програм MatLab для визначення передатних функцій замкнутої та розімкнутої систем

Передатна функція розімкнутої системи:

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{27,5K_{\Pi}}{0,0001575s^4 + 0,421755s^3 + 5,3845s^2 + 19,8s + 20}$$

Передатна функція замкнутої системи:

$$W_{\text{замк}}(s) = \frac{550K_{\Pi}}{0,0001575s^4 + 0,421755s^3 + 5,3845s^2 + 19,8s + 20 + 27,5K_{\Pi}}$$

В розрахованих передатних функціях є невідомий параметр  $K_{\Pi}$ . Розрахуємо його за допомогою методу D-розбивки.

Характеристичний поліном замкнутої системи визначаємо за передавальною функцією замкнутої системи:

$$D_{\text{замк}}(\lambda) = 0,0001575\lambda^4 + 0,421755\lambda^3 + 5,3845\lambda^2 + 19,8\lambda + 20 + 27,5K_{\Pi};$$

$$R(\lambda) = 0,0001575\lambda^4 + 0,421755\lambda^3 + 5,3845\lambda^2 + 19,8\lambda + 200;$$

$$Q(\lambda) = 27,5.$$

Заміняємо  $\lambda$  на  $j\omega$  і отримуємо вираз:

$$\begin{aligned} K_{\Pi}(i\omega) &= \frac{-R(i\omega)}{Q(i\omega)} = \\ &= \frac{-(0,0001575\omega^4 - 0,421755i\omega^3 - 5,3845\omega^2 + 19,8i\omega + 20)}{27,5}. \end{aligned}$$

Звідси знаходимо дійсну  $U(\omega)$  та уявну функції  $V(\omega)$ . Задаючи значення  $\omega$  від -1000 до 1000 будуємо область стійкості. По осі абсцис будуємо дійсну складову  $U(\omega)$ , а по осі ординат - уявну  $V(\omega)$ .

На рис. 4.62 подано фрагмент програмного коду пакету прикладних програм MatLab для побудови кривої D розбивки Графік області стійкості зображений на рис. 4.63.

За графіком бачимо, що область стійкості розташована в межах від 0 до 8. Обираємо коефіцієнт підсилення  $K_{\Pi} = 4$ .

```

>> syms w;
Kp_jw = -(0.0001575*w^4-0.421755*i*w^3-5.3845*w^2+19.8*i*w+20)/27.5;
Re = []; Im = [];
for w=-1000:0.1:1000
Kp_jw = -(0.0001575*w^4-0.421755*i*w^3-5.3845*w^2+19.8*i*w+20)/27.5;
Re1 = real(Kp_jw);
Im1 = imag(Kp_jw);
Re = [Re,Re1];
Im = [Im,Im1];
end
figure, plot(Re,Im)
grid on
xlabel('Re(Kp)'); ylabel('Im(Kp)');

```

Рисунок 4.62 – Фрагмент програмного коду пакету прикладних програм MatLab для побудови АФЧХ

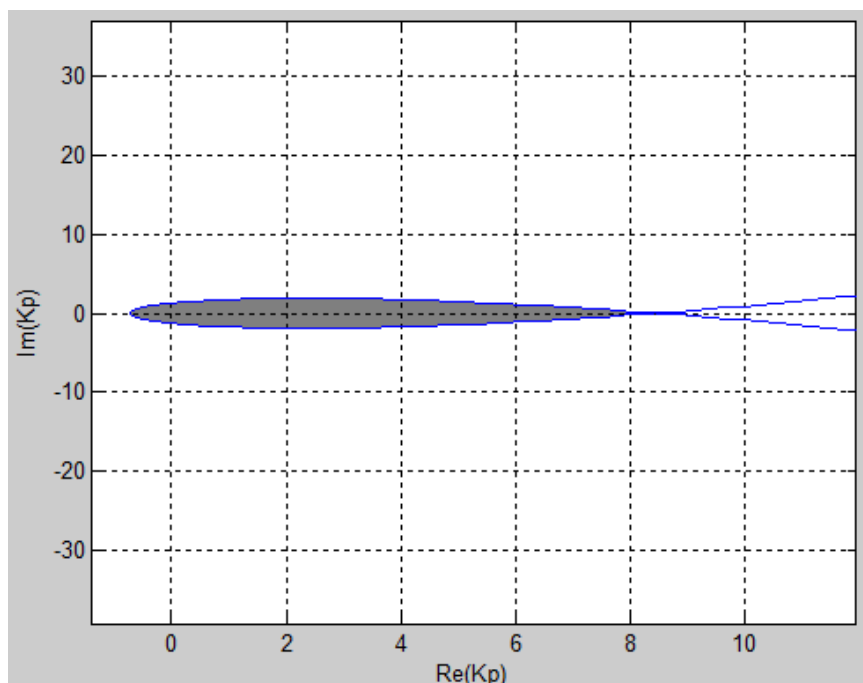


Рисунок 4.63 – Зображення замкненої поверхні D

Таким чином, передатні функції розімкнутої та замкнутої САУ приймуть наступний вигляд:

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{110}{0,0001575s^4 + 0,421755s^3 + 5,3845s^2 + 19,8s + 20};$$

$$W_{\text{замк}}(s) = \frac{2200}{0,0001575s^4 + 0,421755s^3 + 5,3845s^2 + 19,8s + 130}$$

Проведемо оцінку стійкості заданої САУ наступними методами: оцінка розімкнутої системи за коренями характеристичного рівняння; оцінка замкнутої системи, використовуючи критерій Гурвіца, Михайлова та Найквіста. Також потрібно визначимо запаси стійкості за амплітудою і фазою.

Для оцінка стійкості розімкнутої САУ за коренями характеристичного рівняння складемо характеристичне рівняння розімкнутої САУ:

$$0,0001575\lambda^4 + 0,421755\lambda^3 + 5,3845\lambda^2 + 19,8\lambda + 20 = 0.$$

Знайдемо корені характеристичного рівняння:

$$\lambda_1 = -2665; \lambda_2 = -7,14; \lambda_3 = -4; \lambda_4 = -1,66.$$

У методі оцінки стійкості розімкнутої САУ за коренями характеристичного рівняння необхідна та достатня умова полягає у тому, щоб всі корені характеристичного рівняння були від'ємні, тобто знаходилися у лівій півплощині. Так як усі корені нашого характеристичного рівняння від'ємні, то можна зробити висновок, що система стійка.

Проведемо аналіз стійкості замкненої системи за критерієм Гурвіца. Необхідна умова стійкості: для того, щоб система була стійкою необхідно та достатньо, щоб усі її коефіцієнти характеристичного рівняння були одного знаку.

Характеристичне рівняння замкненої системи:

$$0,0001575\lambda^4 + 0,421755\lambda^3 + 5,3845\lambda^2 + 19,8\lambda + 130 = 0;$$

$$a_0 = 0,0001575; a_1 = 0,421755; a_2 = 5,3845; a_3 = 19,8; a_4 = 130.$$

Алгебраїчний критерій стійкості Гурвіца формулюється так: для того, щоб система автоматичного управління була стійкою, необхідно та достатньо, щоб усі визначники Гурвіца були додатними  $\Delta_i > 0$ ,  $i = \overline{1, n}$  при  $a_0 > 0$ .

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,421755 & 19,8 & 0 & 0 \\ 0,0001575 & 5,3845 & 130 & 0 \\ 0 & 0,421755 & 19,8 & 0 \\ 0 & 0,0001575 & 5,3845 & 130 \end{vmatrix} = 2831;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,421755 & 19,8 & 0 \\ 0,0001575 & 5,3845 & 130 \\ 0 & 0,421755 & 19,8 \end{vmatrix} = 21,77;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,421755 & 19,8 \\ 0,0001575 & 5,3845 \end{vmatrix} = 2,26;$$

$$\Delta_1 = a_1 = 0,421755.$$

Згідно з необхідною та достатньою умовою стійкості по критерію Гурвіца  $a_0 > 0, \Delta_1 > 0, \Delta_2 > 0, \Delta_3 > 0, \Delta_4 > 0$  випливає, що замкнута система стійка.

Проведемо аналіз стійкості замкненої системи за критерієм Михайлова. Частотний критерій стійкості Михайлова формулюється так: для того, щоб система автоматичного управління була стійкою, необхідно та достатньо, щоб крива Михайлова при зміні частоти  $\omega$  від 0 до  $+\infty$ , починаючись при  $a_0 > 0$  на дійсній додатній півосі, обходила послідовно  $n$  квадрантів (чвертей) координатної площини проти руху годинникової стрілки, не потрапляючи у початок координат.

Для оцінки стійкості треба записати характеристичне рівняння замкненої САУ та замінити  $\lambda = i\omega$  для знаходження комплексного виразу характеристичного рівняння системи:

$$D_{\text{замк}}(i\omega) = 0,0001575\omega^4 - 0,421755i\omega^3 - 5,3845\omega^2 + 19,8i\omega + 130.$$

Далі знаходимо дійсну  $U(\omega)$  та уявну  $V(\omega)$  з отриманого виразу (рис. 4.64) та будуємо криву Михайлова, яка зображена на рис. 4.65.

```
>> syms w;
Djw = 0.0001575*w^4-0.421755*i*w^3-5.3845*w^2+19.8*i*w+130;
Re = []; Im = [];
for w = 0:0.1:1000
Djw = 0.0001575*w^4-0.421755*i*w^3-5.3845*w^2+19.8*i*w+130;
Re1 = real(Djw);
Im1 = imag(Djw);
Re = [Re,Re1];
Im = [Im,Im1];
end
figure, plot(Re,Im)
grid on
xlabel('Re(Djw)'); ylabel('Im(Djw)');
```

Рисунок 4.64 – Фрагмент програмного коду для побудування годографа Михайлова

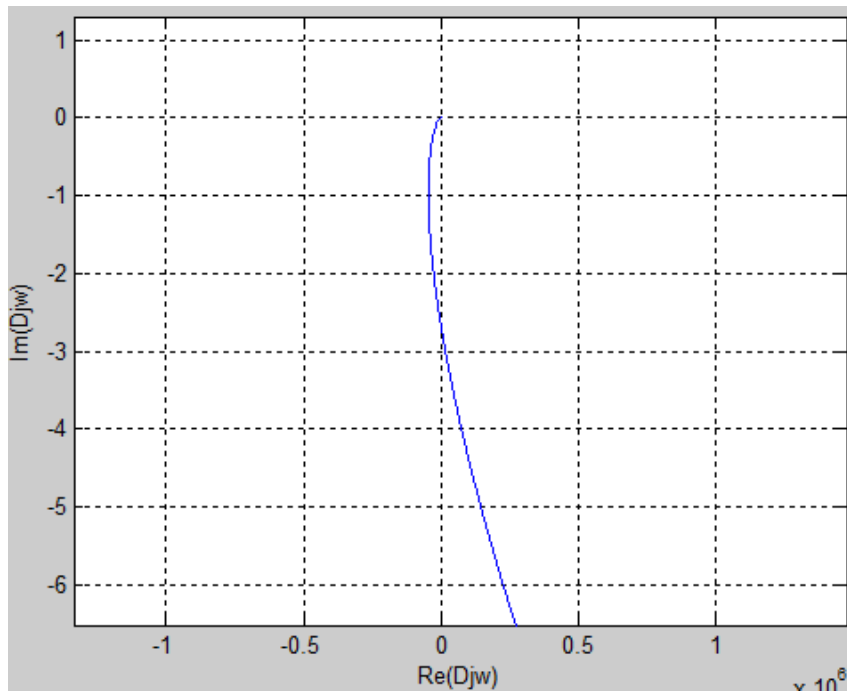


Рисунок 4.65 – Зображення годографа Михайлова

Щоб переконатися в тому, що годограф обходить  $n$  квадрантів, подивимося на збільшене зображення годографа Михайлова (рис. 4.66).

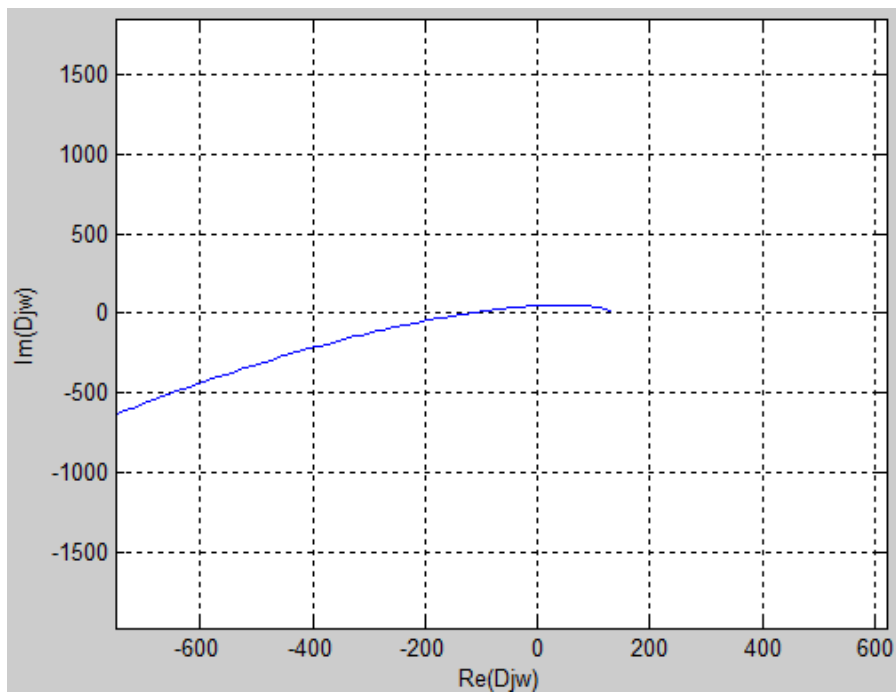


Рисунок 4.66 – Збільшене зображення годографа Михайлова

Проведемо аналіз стійкості замкненої системи за критерієм Найквіста. Критерій Найквіста: для того, щоб замкнута система була стійкою необхідно і достатньо, щоб АФЧХ, її розімкненої системи зі зростанням частоти від 0 до  $\infty$  охоплювало точку  $(-1;j_0)$  в позитивному напрямку(проти напрямку часової стрілки)  $\frac{l}{2}$  раз, де  $l$  – кількість правих коренів характеристичного рівняння розімкненої системи.

Для того, щоб оцінити стійкість САУ за критерієм Найквіста запишемо характеристичний поліном розімкненої системи та знайдемо його корні:

$$D_{\text{роз}}(\lambda) = 0.0001575\lambda^4 + 0.421755\lambda^3 + 5.3845\lambda^2 + 19.8\lambda + 20;$$

$$\lambda_1 = -2665; \lambda_2 = -7.14; \lambda_3 = -4; \lambda_4 = -1.66.$$

Побудуємо годограф Найквіста заданої розімкненої системи. Даний графік зображений на рис. 4.67.

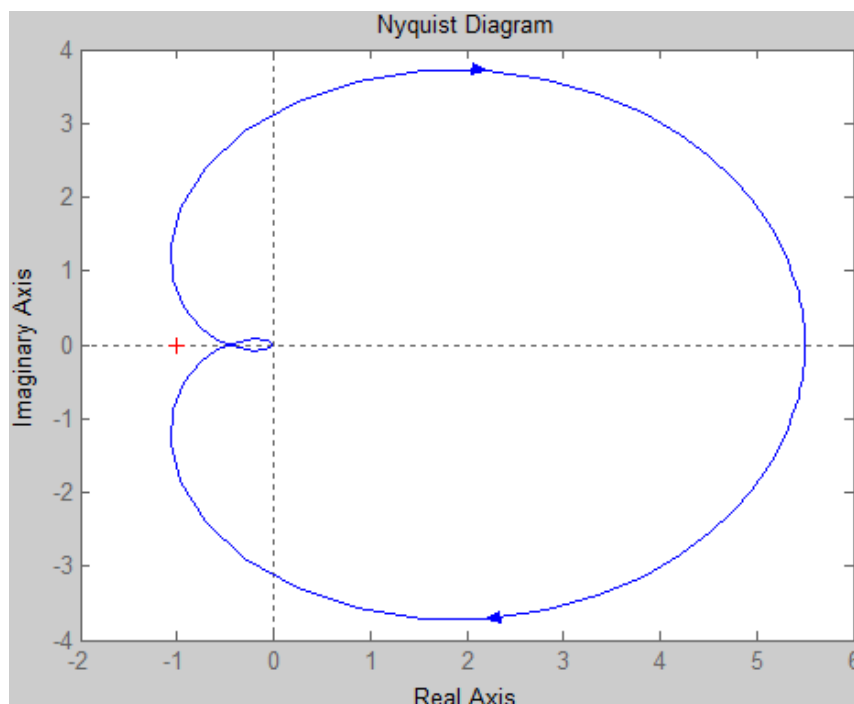


Рисунок 4.67 – Годограф Найквіста

Оскільки всі корені розімкненої системи від’ємні, то АФЧХ не охоплює точку  $(-1;j_0)$ , що можна побачити на годографі Найквіста. Тому можна зробити висновок, що замкнута САУ стійка за критерієм Найквіста.

Для визначення запасу стійкості за амплітудою та фазою побудуємо ЛАЧХ та ЛФЧХ заданої нескорегованої САУ за допомогою програмного засобу Matlab. Результат зображено на рис. 4.68.

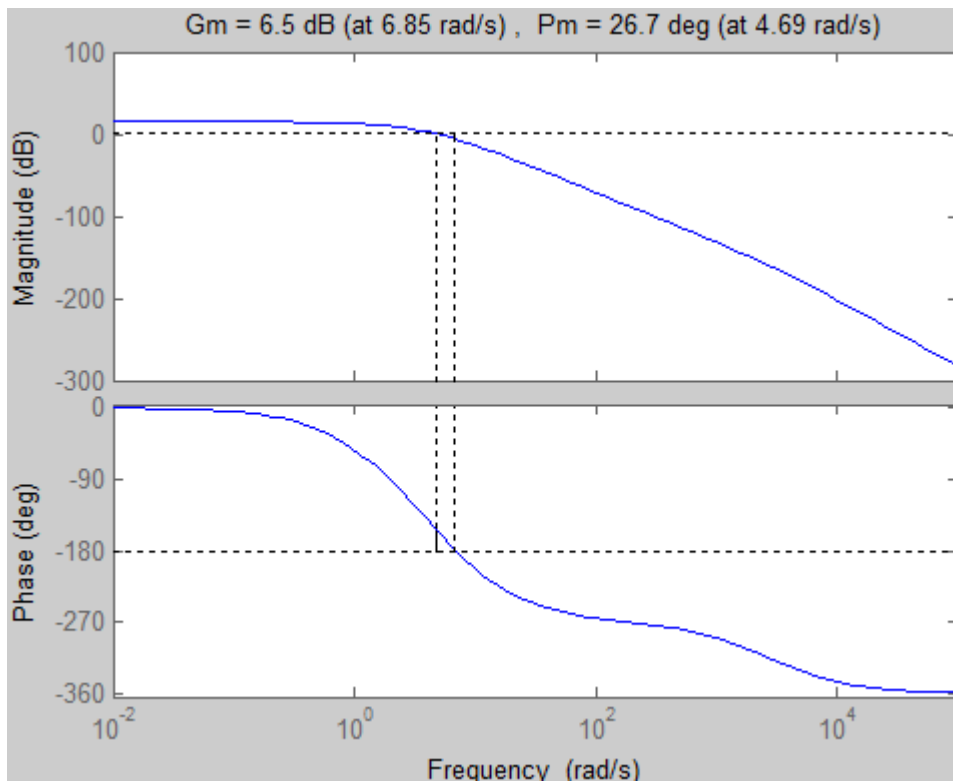


Рисунок 4.68 – ЛАЧХ і ЛФЧХ нескорегованої САУ

З отриманих графіків визначимо запаси стійкості досліджуваної за амплітудою  $\Delta L$  та фазою  $\Delta\varphi$ :

$$\Delta L = 6,5 \text{ дБ};$$

$$\Delta\varphi = 26,7 \text{ deg}.$$

Синтезуємо послідовну коригуючу ланку за допомогою частотного методу синтезу. Передавальна функція послідовної коригуючої ланки записується по виду її ЛАЧХ. Побудова ЛАЧХ послідовної коригуючої ланки проводиться в такій послідовності:

- будується ЛАЧХ заданої (нескорегованої) системи;
- будується бажана ЛАЧХ по заданих показниках якості перехідного процесу;
- будується ЛАЧХ послідовної коригуючої ланки шляхом графічного вирахування з ЛАЧХ бажаної системи ЛАЧХ заданої системи.



Для побудови ЛАЧХ заданої САУ візьмемо передавальну функцію розімкненої системи:

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{110}{0,0001575s^4 + 0,421755s^3 + 5,3845s^2 + 19,8s + 20}$$

та приведемо її до зручного вигляду:

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{5,5}{(0,14s + 1)(0,000225s^2 + 0,6s + 1)(0,25s + 1)}$$

Далі знаходимо точку перетину ЛАЧХ заданої системи з віссю ординат:

$$20 \lg(K) = 20 \lg(5,5) = 14,8.$$

Отже точка перетину  $A_1(0; 14,8)$ .

З нахилом:

$$-9 \cdot 20 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}} = 0 \cdot 20 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}} = 0 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}}.$$

Далі визначаємо частоти, що сполучають ланки системи (табл. 4.7):

Таблиця 4.7 – Частоти, які сполучають ланки

Ланки	T	$\omega = \frac{1}{T}$	$\lg \omega$	Нахил, дБ/дек
$\frac{1}{(0,25s + 1)}$	0.25	4	0.6	$-20 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}}$
$\frac{1}{(0,14s + 1)}$	0.14	7.14	0.85	$-20 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}}$
$\frac{1}{(0,000225s^2 + 0,6s + 1)}$	0.015	66	1.82	$-40 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}}$

Початковий нахил ЛАЧХ заданої системи проходить через точку  $A_1$  з початковим нахилом 0 дБ/дек. Далі шукаємо частоти сполучення і від першого нахилу будуюмо далі наступні (рис. 4.69).

При побудові ЛАЧХ бажаної системи виділяють три області: область низьких частот, область середніх частот і область високих частот. Вид ЛАЧХ в кожній з областей по різному впливає на якість системи. У області низьких частот вид ЛАЧХ визначає точність роботи системи в сталих режимах. Область середніх частот визначає динамічні властивості системи (швидкодія, коливальність). Вид ЛАЧХ в області високих частот практично мало впливає на якість системи.

Побудову ЛАЧХ починають з області середніх частот. Спочатку знаходять по заданих величинах  $\sigma_{max}$  і  $t_{per}$  частоту зрізу  $\omega_z$  по табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Таблиця заданих значень

$\sigma_{max}, \%$	20
$t_p \cdot \omega_{зр} / \pi$	4
$L_1, \text{дБ}$	13,5
$\Delta\varphi, \text{гр}$	65

Для заданої САУ максимальне перерегулювання дорівнює  $\sigma_{max} = 20\%$ , а час регулювання  $t_{per} = 2,5$  с. Тоді частота зрізу розраховується за формулою:

$$\omega_{зр} = \frac{4 * \pi}{t_{per}} = \frac{4 \cdot 3,14}{2,5} = 5,02$$

$$;$$

$$\lg(\omega_{зр}) = 0,7.$$

Далі на вісь абсцис наноситься частота зрізу  $\omega_{зр}$  і через неї проводиться пряма лінія з нахилом -20 дБ/дек. Потім з точки перетину лінії нахилом мінус 20 дБ/дек і  $L_1$  (згідно табл. 4.5) опускаємо перпендикуляр і знаходимо

$$\omega_2 = 0,031.$$

В області низьких частот ЛАЧХ бажаної системи будується наступним чином. На графік наноситься точка  $A_2(0; 2 * L_1)$  і через неї проводиться пряма з нахилом -20 дБ/дек. Від точки, яку знайшли шляхом перетину лінії нахилу мінус 20 дБ/дек і  $L_1$ , проводимо пряму лінію з нахилом -40 дБ/дек до перетину з низькочастотною прямою (яка проходить через точку  $A_2$ ) ЛАЧХ бажаної системи. У точці перетину опускаємо перпендикуляр на вісь абсцис і знаходимо

$$\omega_1 = -0,756.$$

Частоту  $\omega_5$ , що обмежує область середніх частот праворуч, визначають величиною відрізка  $L_2$ , при цьому  $|L_2| \geq L_1$ . Беремо  $L_2 = 22,5$ , що дає нам результат  $\omega_5 = 1,82$ .

У області високих частот бажану ЛАЧХ будують у вигляді прямолінійних відрізків з нахилом, кратним 20 дБ/дек. (тобто 40, 60, 80 і т.д.), таким чином, щоб різниця характеристик бажаної і заданої в межі при  $\omega \rightarrow \infty$  складала пряму лінію, паралельну осі частот.

В області високих частот ЛАЧХ бажаної системи  $\omega_5$ , тобто частоти яка йде перша від заданої системи і від неї проводимо пряму з нахилом -80дБ/дек (рис. 4.69).

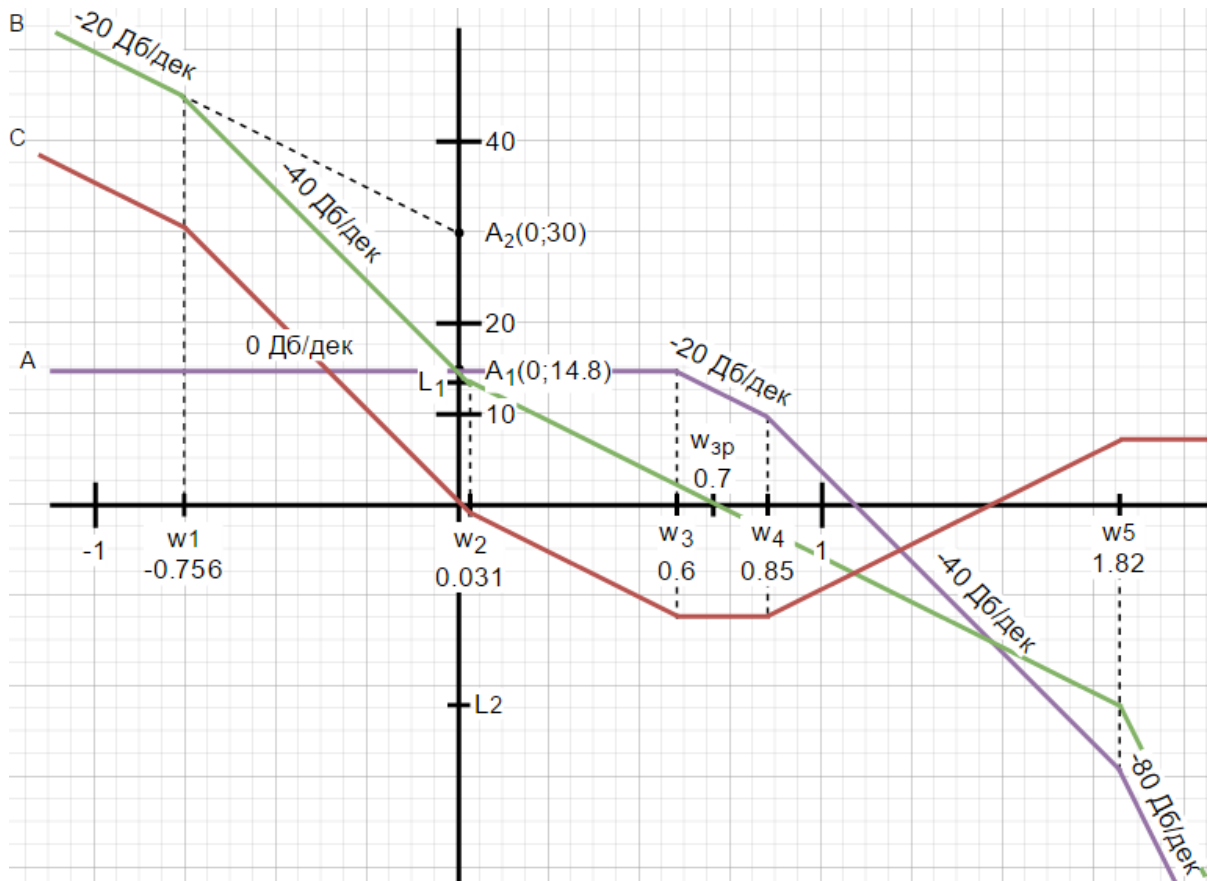


Рисунок 4.69 – Асимптотичні ЛАЧХ: А – заданої системи; В – бажаної системи; С – послідовної корегуючої ланки.

ЛАЧХ послідовної корегуючої ланки будується шляхом графічного вирахування з ЛАЧХ бажаної системи ЛАЧХ заданої системи (рис. 4.69).

Отримуємо:

$$\begin{aligned}
 -20 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}} - 0 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}} &= -20 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}}; \\
 -40 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}} - 0 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}} &= -40 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}}; \\
 -20 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}} - 0 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}} &= -20 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}}; \\
 -20 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}} - \left(-20 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}}\right) &= 0 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}}; \\
 -20 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}} - \left(-40 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}}\right) &= +20 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}}; \\
 -80 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}} - \left(-80 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}}\right) &= 0 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}}.
 \end{aligned}$$

Для початку визначається коефіцієнт підсилення корегувальної ланки:

$$20 \lg K = A_3, \text{ де } A_3 = A_2 - A_1 = 30 - 14.8 = 15.2;$$

$$20 \lg K = 15.2 \rightarrow K = 10^{\frac{15.2}{20}} = 5.75.$$

Далі визначаємо нахили прямих корегуючої ЛАЧХ та по ним знаходимо передатні функції (табл. 4.9).

Таблиця 4.9 – Передатні функції ЛАЧХ скорегованої системи

$\lg \omega$	$\omega = 10^{\lg \omega}$	$T = \frac{1}{\omega}$	$\frac{\text{дБ}}{\text{дек}}$	Ланка
-0,756	0,175	5,7	-20	$\frac{1}{(5,7s + 1)}$
0,031	1,07	0,93	+20	$0,93s + 1$
0,6	3,98	0,25	+20	$0,25s + 1$
0,85	7,07	0,14	+20	$0,14s + 1$
1,80	66,06	0,0015	-20	$\frac{1}{(0,015s + 1)}$

Отже, згідно з коефіцієнтом підсилення скорегованої системи та табл. 4.9 складемо передатну функцію корегуючої ланки:

$$W_{\text{кор}}(s) = \frac{5,75(0,93s + 1)(0,25s + 1)(0,14s + 1)}{s(5,7s + 1)(0,015s + 1)} =$$

$$= \frac{0,1872s^3 + 2,287s^2 + 7,59s + 5,75}{0,2727s^3 + 8,002s^2 + 8,59s + 5,75}$$

Після знаходження передатної функції послідовної корегуючої ланки, побудуємо структурну схему скорегованої системи (рис. 4.70)

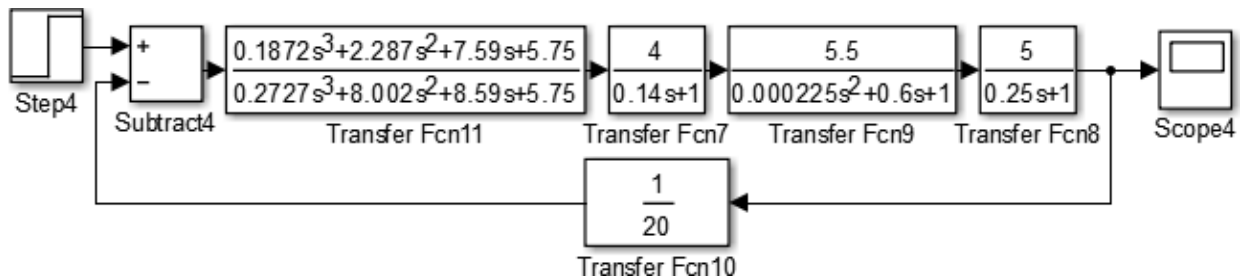


Рисунок 4.70 – Структурна схема скоригованої САУ

Враховуючи проведені розрахунки отримаємо наступні передатні функції:

$$W_{\text{поз}}(s) = \frac{110}{0,0001575s^4 + 0,421755s^3 + 5,3845s^2 + 19,8s + 20};$$

$$W_{\text{кор}}(s) = \frac{0,1872s^3 + 2,287s^2 + 7,59s + 5,75}{0,2727s^3 + 8,002s^2 + 8,59s + 5,75};$$

$$W_{\text{кор_поз}}(s) = W_{\text{кор}} W_{\text{поз}} =$$

$$= \frac{20,59s^3 + 251,5s^2 + 834,9s + 632,5}{10^{-5} * 4,294s^7 + 0,1163s^6 + 4,844s^5 + \dots + 361,1s^2 + 285,7s + 115}$$

$$W_{\text{кор_замк}}(s) = \frac{W_{\text{кор}} W_1 W_2 W_3}{1 + W_{\text{кор}} W_1 W_2 W_3 W_4} =$$

$$= \frac{411,8s^3 + 5031s^2 + 16700s + 12650}{10^{-5} * 4,294s^7 + 0,1163s^6 + 4,844s^5 + \dots + 612,6s^2 + 1121s + 747,5}$$

Передатна функція замкнутої скорегованої системи за помилкою розраховується за формулою:

$$W_{eg}(s) = \frac{1}{1 + W_{кор\_поз}} =$$

$$= \frac{10^{-5} * 4.294s^7 + 0.1163s^6 + 4.844s^5 + \dots + 361.1s^2 + 285.7s + 115}{10^{-5} * 4.294s^7 + 0.1163s^6 + 4.844s^5 + \dots + 612.6s^2 + 1121s + 747.5}$$

Коефіцієнти помилок є числовими характеристиками якості системи в сталому режимі. Коефіцієнт  $C_{g0}$  називають коефіцієнтом позиційної помилки, коефіцієнт  $C_{g1}$  називають коефіцієнтом швидкісної помилки, коефіцієнт  $C_{g2}$  називають коефіцієнтом помилки по прискоренню. Розрахунки наведено нижче:

$$C_{g0} = W_{eg}(0) = 0.1538;$$

$$C_{g1} = \left. \frac{dW_{eg}(s)}{ds} \right|_{s=0} = 0.1288;$$

$$C_{g2} = \left. \frac{d^2W_{eg}(s)}{ds^2} \right|_{s=0} = 0.03.$$

Для порівняння скоригованої системи с заданою, розрахуємо коефіцієнти помилок для заданої системи. Знайдемо задану замкнену скориговану систему за помилкою:

$$W_{eg}(s) = \frac{1}{1 + W_{поз}(s)} =$$

$$= \frac{0,0001575s^4 + 0,4218s^3 + 5,385s^2 + 19,8s + 20}{0,0001575s^4 + 0,4218s^3 + 5,385s^2 + 19,8s + 130};$$

та розрахуємо коефіцієнти помилок:

$$C_{g0} = W_{eg}(0) = 0,1538;$$

$$C_{g1} = \frac{dW_{eg}(0)}{ds} = 0,1514;$$

$$C_{g2} = \frac{d^2W_{eg}(0)}{ds^2} = 0,25.$$

Коефіцієнти помилок заданої системи є дещо більшими.

Моделювання є останньою й однією з найважливіших задач аналізу систем автоматичного управління, що дозволяє імітувати поведінку реальної системи в різних умовах експлуатації, передбачити аварійні ситуації або підвищення навантаження на елементи системи без ризику їхнього руйнування. Моделювання перехідних процесів є обов'язковим етапом дослідження умовно стійких і нестійких систем. Воно замінює експерименти з реальними дорогими об'єктами, які в робочих умовах завжди повинні функціонувати стійко, надійно й безпечно.

Перехідні характеристики заданої та скорегованої системи зображені на рис. 4.71 та рис. 4.72 відповідно.

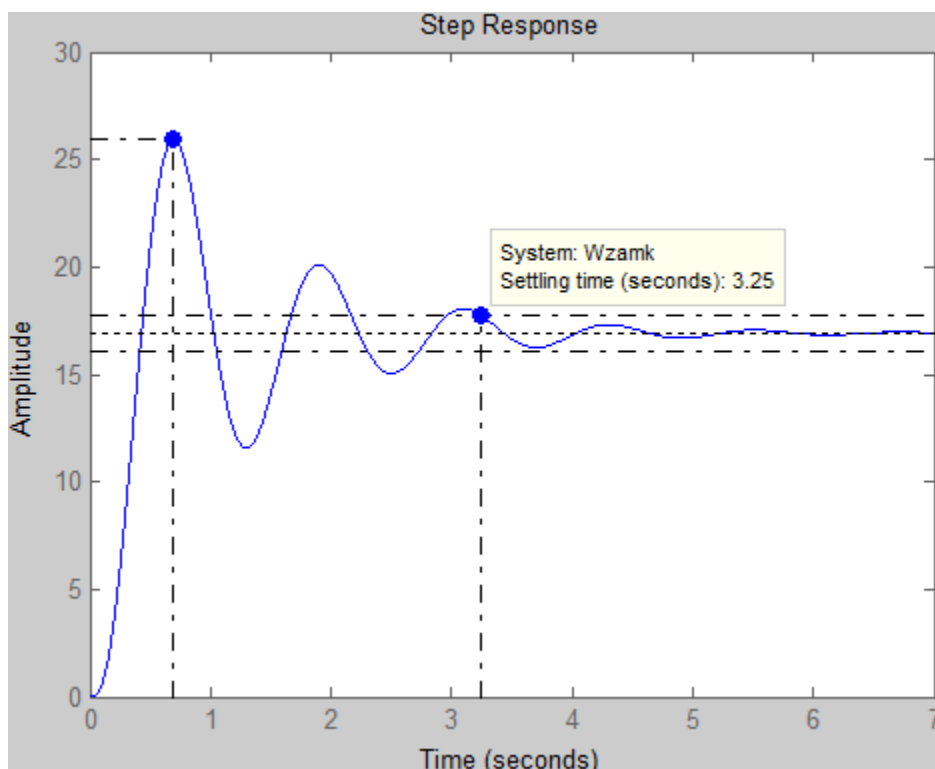


Рисунок 4.71 – Перехідна характеристика заданої системи

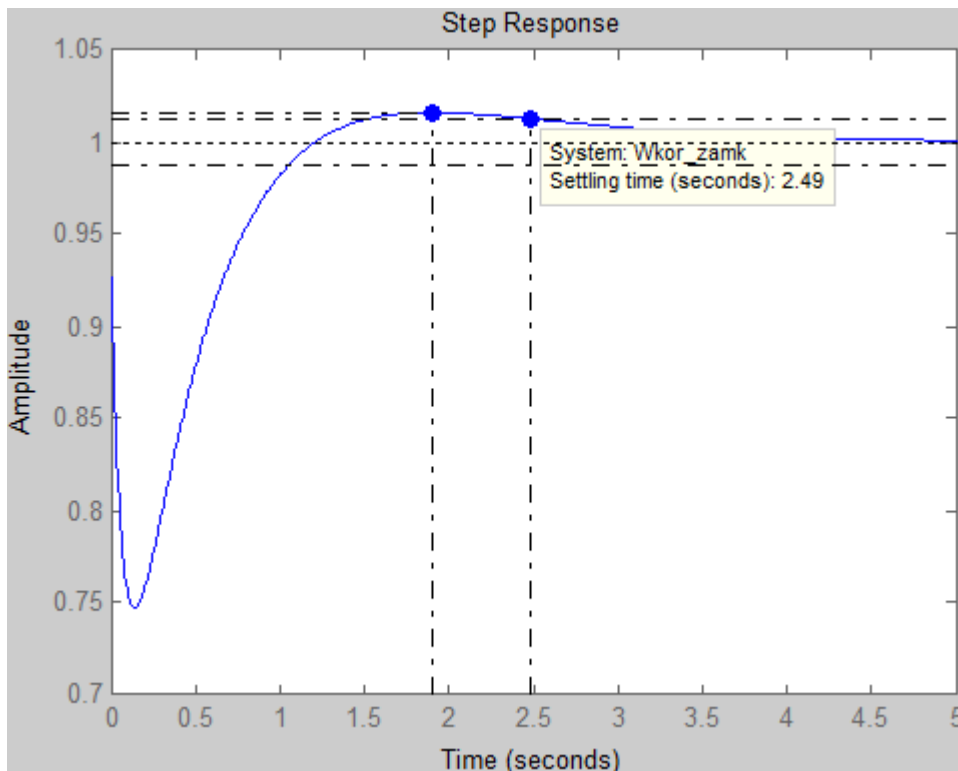


Рисунок 4.72 – Перехідна характеристика скорегованої системи

За видом перехідної характеристики визначимо прямі показники якості: час регулювання та перерегулювання та непрямі показники якості: запас стійкості по амплітуді та фазі, які належать до частотних показників якості.

Час регулювання  $t_p$  – це мінімальний час, по закінченні якого відхилення вихідної величини від сталого значення не перевищує певної заданої величини  $\Delta = (0,05 \div 0,1)$ , де  $h_\infty$  – стає значення перехідної характеристики. Для досліджуваної САУ задана величина  $\Delta = 0.05$ . Час регулювання визначається як останній перетин перехідної характеристики з заданою величиною  $\Delta$ . Час регулювання для перехідної характеристики скорегованої САУ дорівнює:

$$t_p = 2,49 \text{ с.}$$

Перерегулювання  $\sigma$  - максимальне відхилення перехідної характеристики від сталого значення. Перерегулювання знаходиться за формулою:

$$\sigma = \frac{h_{max} - h_\infty}{h_\infty} \cdot 100\%.$$



Перерегулювання для перехідної характеристики скорегованої САУ дорівнює:

$$\sigma = \frac{1.02 - 1.0}{1.0} \cdot 100\% = 2\%$$

Час регулювання та показник перерегулювання задовольняють заданим показникам.

Запас стійкості по амплітуді та фазі знаходяться за допомогою ЛАЧХ та ЛФЧХ. Запас стійкості за амплітудою визначається як відстань від ЛАЧХ до осі частот на частоті, на якій ЛФЧХ перетинає пряму  $\varphi(\omega) = -\pi$ . Запас стійкості за фазою визначається як відстань від ЛФЧХ до прямої  $\varphi(\omega) = -\pi$  на частоті зрізу. Частота зрізу – це частота, на якій ЛАЧХ перетинає вісь частот.

На рис. 4.73 зображені ЛАЧХ та ЛФЧХ скоригованої розімкнутої САУ.

З отриманих графіків визначимо запаси стійкості досліджуваної за амплітудою  $\Delta L$  та фазою  $\Delta\varphi$ :

$$\Delta L = 17,8\text{дБ};$$

$$\Delta\varphi = 33,1^\circ.$$

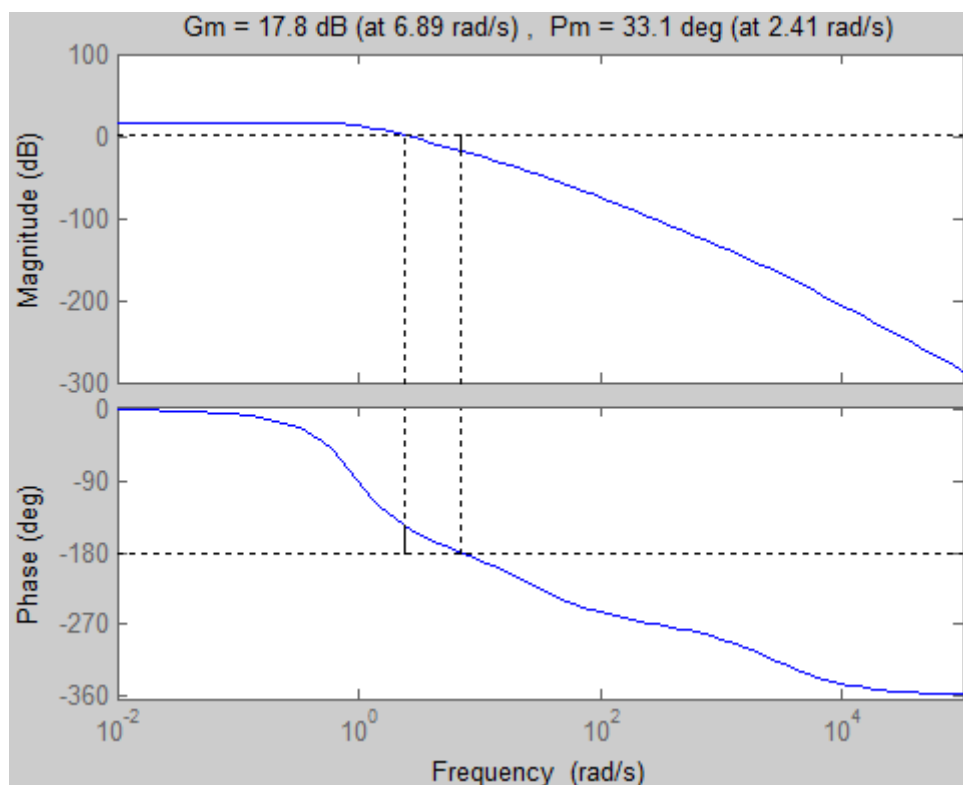


Рисунок 4.73 – ЛАЧХ та ЛФЧХ скоригованої системи

Запас стійкості по амплітуді та запас стійкості по фазі скоригованої системи збільшився від заданого. Тому можна зробити висновок, що дана система задовольняє заданим вимогам.

#### 4.14 Вибір електронних компонентів модуля та обґрунтування вибору

Для побудови модуля відображення інформації спочатку потрібен блок керування. В якості такого блоку будемо використовувати плату Arduino Nano. На рис. 4.74 показано зображення даного контролера.

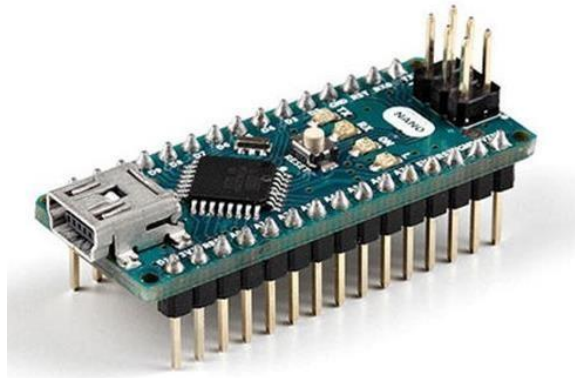


Рисунок 4.74 – Контролер Arduino Nano

Як можна бачити з поданого рисунку, дана плата не має вбудованого перетворювача інтерфейсів RS-485, тому необхідно використовувати допоміжні мікросхеми для реалізації даного модуля. На рис. 4.75 показано призначення входів та виходів даного модуля.

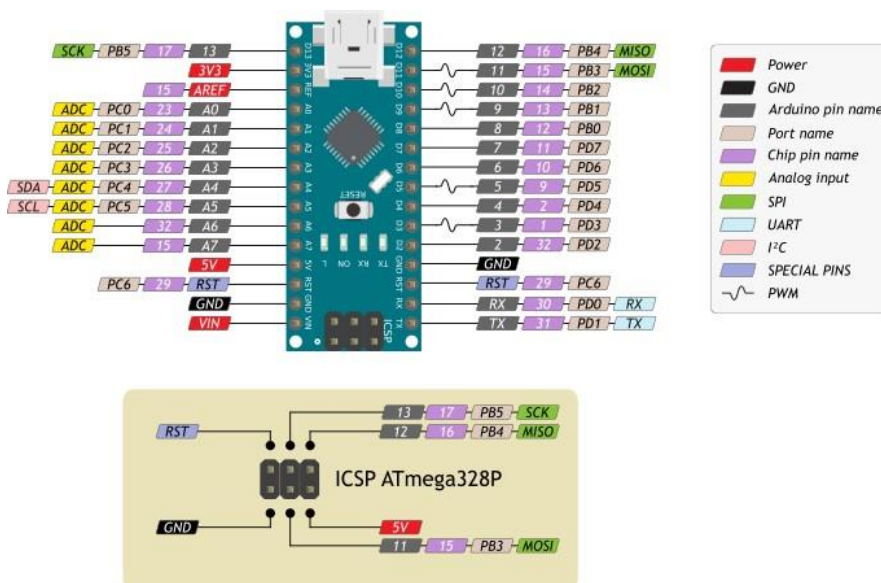


Рисунок 4.75 – Призначення входів та виходів Arduino Nano

В табл. 4.10 подано основні характеристики даного пристрою.

Arduino Nano може живитися через кабель Mini-B USB, від зовнішнього джерела живлення з нестабілізованою напругою 6...20 В (через вивід 30, як показано на схемі) або зі стабілізованою напругою 5 В (через вивід 27). Пристрій автоматично вибирає джерело живлення з найбільшою напругою.

Таблиця 4.10 – Основні технічні характеристики платформи ArduinoNano

№	Параметр	Значення
1	Мікроконтролер	ATmega328
2	Напруга живлення (рекомендована)	7...12 В
3	Цифрові входи / виходи	14 (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів)
4	Максимальний струм одного виведення	40 мА
5	Flash-пам'ять	32 кБ (ATmega328), з яких 0,5 кБ використовуються завантажувачем
6	EEPROM	1 кБ (ATmega328)
7	SRAM	2 кБ (ATmega328)
8	Розміри	1,85 см x 4,3 см
9	Тактова частота	16 МГц

Як перетворювач інтерфейсів використовуватиме окремий модуль RS485. Зовнішній вигляд модуля показано на рис. 4.76.

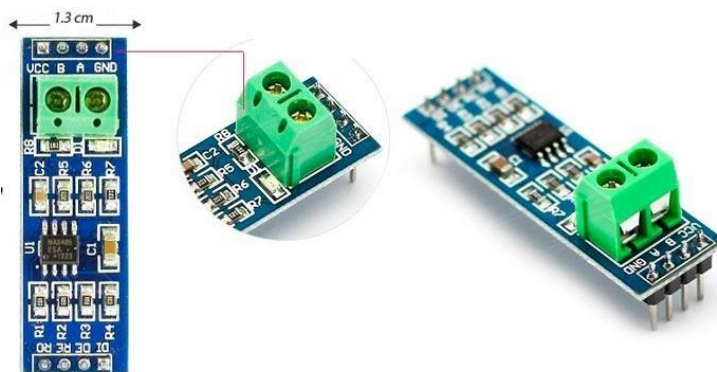


Рисунок 4.76 – Зовнішній вигляд модуля RS-485

Існує велика кількість різних типів приймачів (драйверів) RS-485. Приймачі на основі мікросхеми MAX485, який використовується в даному модулі, перетворює сигнали TTL в стандарт RS485 і назад. Такі модулі використовуються для підключення пристроїв на основі Arduino до шини RS485.

Технічні характеристики модуля перетворення інтерфейсів:

- напруга живлення 5 В;
- струм споживання 10 мА;
- струм споживання в режимі очікування 5 мА;
- швидкість передачі даних до 2,5 Мбіт/с;
- робоча температура 0...70 °С;
- розмір 44 мм x14 мм x 20 мм.

Призначення контактів:

- Vcc – живлення модуля (+ 5 В);
- GND – земля;
- DI – вхід передавача;
- RO – вихід приймача;
- DE – дозвіл роботи передавача;
- RE – дозвіл роботи приймача;
- А – лінія передачі;
- В – лінія передачі.

Контакти модуля А і В, є виводами лінії передачі даних, при цьому усі модулі на лінії з'єднуються однойменними виводами.

На рис. 4.77 подано приклад підключення перетворювача інтерфейсів до контролеру Arduino.

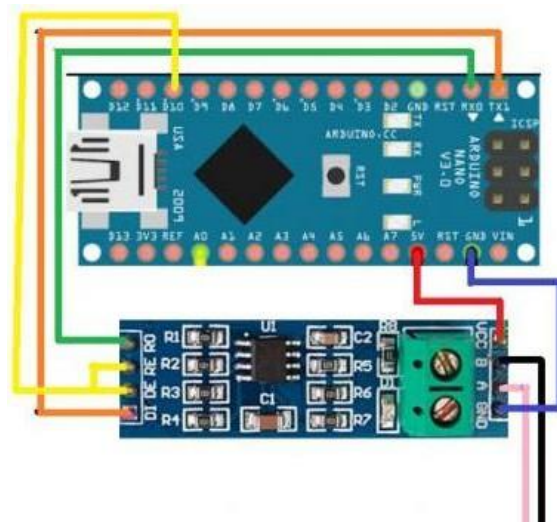


Рисунок 4.77 – Приклад підключення перетворювача інтерфейсів до контролеру Arduino

Для відображення інформації будемо використовувати TFT-дисплей типу IPS 240x240. Зовнішній вигляд пристрою показано на рис. 4.78.



Рисунок 4.78 – TFT-дисплей типу IPS 240x240

Характеристики дисплею:

- інтерфейс: SPI;
- драйвер: ST7789;
- колір дисплея : RGB, 262К кольорів;
- роздільна здатність: 240 × 240 точок;
- підсвічування: світлодіодна;
- робоча напруга: 3,3 В.

Дисплей підключається до Arduino за допомогою інтерфейсу SPI. Напруга живлення дисплею 3,3 В, тому треба використовувати схему сполучення наруги. Це можна зробити на резистивних дільниках, як показано на рис. 4.79.

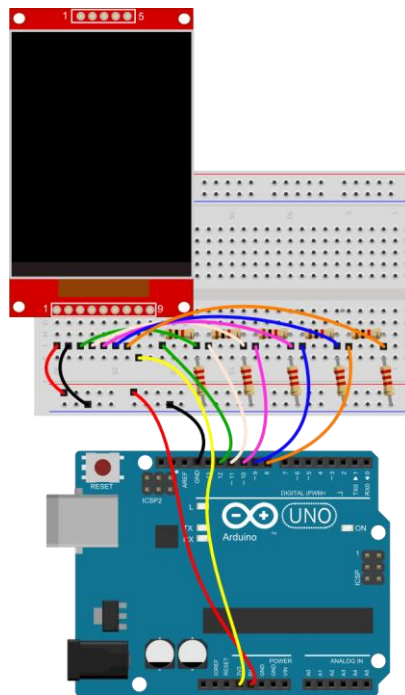


Рисунок 4.79 – Приклад використання резистивних дільників для сполучення напруги живлення

#### 4.15 Виконання електричної схеми підключення компонентів

Виходячи з обраних компонентів, та схеми їх підключення до Arduino розробимо електричну схему підключення всіх компонентів. Загальна схема поєднання компонентів показана на рис. 4.80.

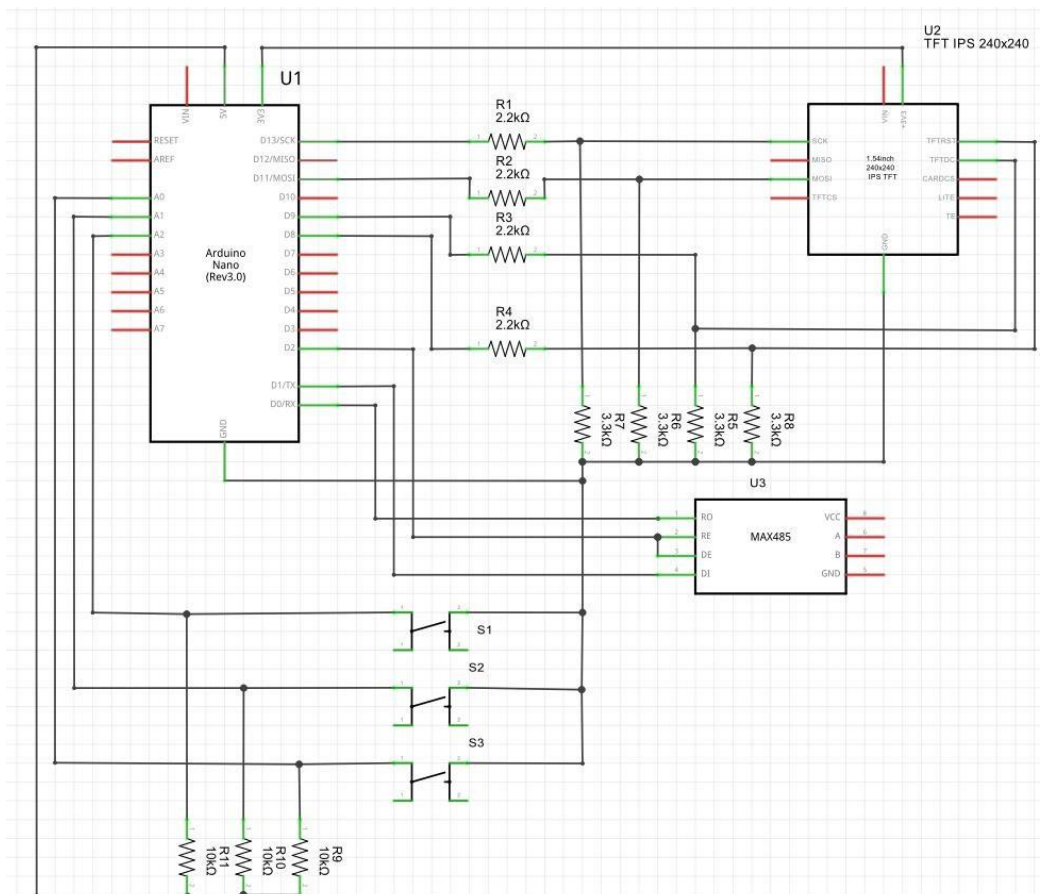


Рисунок 4.80 – Загальна схема підключення компонентів

На даній схемі можна бачити, що дисплей U2 підключається до контролера Arduino U1 через резистори R1, R2, R3, R4. Дані резистори обрані номіналом 2,2 кОм. Для сполучення рівнів сигналів 5 В та 3,3 В треба підтягнути до «землі» сигнальні провідники. На схемі перетворення рівнів сигналів відбувається за допомогою резисторів R5, R6, R7, R8 номіналом 3,3 кОм.

Дисплей U2 підключається за допомогою інтерфейсу SPI:

- RST вивід підключається до Arduino через цифровий контакт 8;
- DC вивід підключається до Arduino через цифровий контакт 9;
- SDA вивід підключається до Arduino через цифровий контакт 11;
- SCL вивід підключається до Arduino через цифровий контакт 8.

Контакти живлення підключаються наступним чином:

- VCC вивід підключається до Arduino контакту 3V3;
- GND вивід підключається до Arduino контакту GND;
- BL (LED) вивід підключається до Arduino контакту 3V3.

Перетворювач інтерфейсів RS-485 підключається до Arduino через контакти RX та TX. Для зміни напрямку обміну даними (переключення між режимами передачі та прийому) в схемі використовується контакт 2 Arduino. Він підключається до контактів RE, DE перетворювача інтерфейсів.

Логічний рівень 1 включає передачу даних, а логічний рівень 0, включає прийом даних. Живлення перетворювача інтерфейсів береться від контакту 5 В плати Arduino.

Для управління роботою модуля використовуються три кнопки S1, S2, S3. Ці кнопки підключаються до плати Arduino через аналогові входи. Це зроблено для зручності комутації, адже програмно можна використовувати аналогові порти, як цифрові.

Резистори R9, R10, R11 використовуються для підтягування вхідних контактів до рівня логічної одиниці в момент, коли кнопки не натиснуті.

На рис. 4.81 показана монтажна схема модуля відображення інформації.

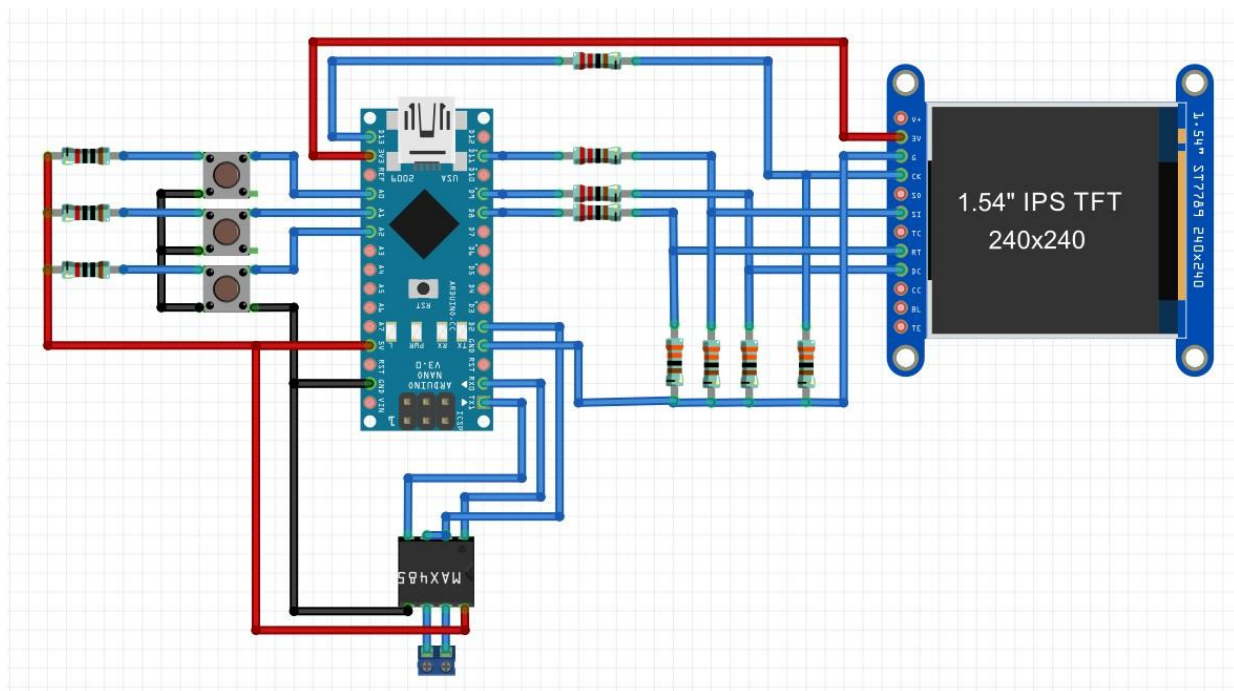


Рисунок 4.81 – Монтажна схема модуля відображення інформації

#### 4.16 Розрахунки надійності розробленого модуля

Надійність розробленого модулю – це його властивість виконувати задані функції в певних умовах експлуатації при збереженні значень основних параметрів в заданих межах.

Надійність характеризується низкою розрахункових показників, найбільш важливими з яких є:

- інтенсивність відмов;
- середнє напрацювання на відмову;
- імовірність безвідмовної роботи.

Імовірність безвідмовної роботи вказує на те, яка частина виробів буде працювати безвідмовно протягом заданого часу  $t_p$ . Для більшості радіоелектронних пристроїв ймовірність безвідмовної роботи залежить як від фізичних властивостей, так і від часу  $t_p$ , протягом якого пристрій повинен працювати безвідмовно:

$$P(t) = e^{-\lambda \times t_p}, \quad (4.18)$$

де  $\lambda$  – інтенсивністю відмов,  $10^{-6}$  1/год;

$t_p$  – часу, протягом якого пристрій повинен працювати безвідмовно, год.

Інтенсивністю відмов називають кількість відмов за одиницю часу, що припадає на один виріб, який продовжує працювати в даний момент часу:

$$\lambda = \frac{n}{N \cdot t_p} \quad (4.19)$$

Інтенсивність відмов апарата що, складається з  $N$  різних елементів, визначають за формулою:

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_N = \sum_{i=1}^N \lambda_i . \quad (4.20)$$

Розрахунок надійності проводимо в наступній послідовності.

Складаємо таблицю вихідних даних для розрахунку, визначаємо конструктивну характеристику компонентів, кількість компонентів по групах, розраховуємо інтенсивність відмов  $\lambda_i$  для кожної з груп компонентів.



Вихідні дані для розрахунку надійності зводимо в таблицю 4.11.

Для врахування умов експлуатації знаходимо поправочні коефіцієнти  $K_e$ ,  $K_m$ ,  $K_a$  і розраховуємо поправочний коефіцієнт.

Приймаємо  $K_e = 1,0$ ,  $K_m = 1,0$ ,  $K_a = 1,0$ .

$$K_\lambda = K_e \cdot K_m \cdot K_a, \quad (4.21)$$

$$K_\lambda = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,0$$

Розрахунок інтенсивності відмов проводимо по формулі:

$$\lambda = (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_m) \cdot K_\lambda = K_\lambda \cdot \sum_{i=1}^m \lambda_i, \quad (4.22)$$

$$\lambda = 0,436 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Таблиця 4.11 – Вихідні дані розрахунку надійності

Типи елементів	Кількість елементів	Допустимі значення				Інтенсивність відмов, $10^{-6}$ 1/год
		Т, °С	Відносна вологість %	Механічні взаємодії		
				Вібрація, Гц	Удари, g	
Arduino nano	1	-10...+50	90	1-4000	40	0,019
TFT IPS 240x240	1	0...+50	90	1-2000	20	0,19
RS-485	1	0...+50	85	1-4000	40	0,023
Кнопки	3	0...+50	85	1-2000	20	0,16
Резистори	11	-20...+60	90	1-4000	40	0,044
Всього	17					0,436

Середнє напрацювання на відмову розраховуємо за формулою:

$$T_{cp.} = \frac{1}{\lambda}, \quad (4.23)$$

$$T_{cp} = 1 / 0,436 \cdot 10^{-6} = 2293578 \text{ год.}$$

Проводимо розрахунок імовірності безвідмовної роботи пристрою за формулою:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t_p}, \quad (4.24)$$

де  $e$  – основа натурального логарифма;

$\lambda$  – інтенсивність відмов;

$t_p$  – час випробувань.

Результати розрахунків імовірності безвідмовної роботи пристрою записуємо в таблицю 4.12.

Таблиця 4.12 – Значення щільності розподілу напрацювання між відмовами та показників надійності в різних точках часу напрацювання

Час напрацювання $t$ , год	Ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$	Ймовірність відмови $Q(t)$
10	0,99985947	0,00014053
100	0,998595587	0,001404413
1000	0,986044296	0,013955704
10000	0,868888909	0,131111091
100000	0,245268929	0,754731071
1000000	7,87817E-07	0,999999212

#### 4.17 Зміст підрозділу з охорони праці

Основна мета підрозділу «Охорона праці» (ОП) в кваліфікаційних роботах бакалавра – виявлення чинників, що спричиняють можливість виробничого травматизму, професійних захворювань, отруєнь, пожеж, вибухів, забруднення навколишнього середовища промисловими викидами під час експлуатації, виготовлення і застосування радіоелектронного устаткування на робочих місцях і в робочих приміщеннях, та розробка заходів, щодо техніки безпеки.

Зміст підрозділу має відповідати темі кваліфікаційної роботи бакалавра і передбачати розробку одного або кількох конкретних питань з техніки безпеки, промислової санітарії, пожежної профілактики, захисту навколишнього середовища. Загальний обсяг підрозділу ОП має складати 2...10 аркушів.

#### 4.17.1 Виробнича санітарія в лабораторії

Робота з розробки модуля відображення інформації та програмного забезпечення для нього, проводитиметься у приміщенні лабораторії, робота в якій згідно до ДСН 3.3.6.042-99 за енерговитратами організму людини «легка 1б» – це роботи, які виконуються сидячи та не вимагають постійного фізичного напруження і переміщення важких речей. Енерговитрати для цієї категорії складають 121...150 ккал/год.

Для забезпечення нормативних показників кліматичних параметрів у приміщенні лабораторії в холодну пору року застосовують опалення, а у теплу – кондиціонування приміщення.

Роботи в лабораторії відносяться до III розряду високої точності, категорія «Г» згідно до СНиП-4-79. Мінімальне допустиме значення освітленості для даних робіт становить 200-400 лк.

Рівень загального штучного освітлення приміщення лабораторії можна перевірити за допомогою методу питомої потужності, розрахунки згідно якого виконуються як розрахунок питомої потужності за формулою

$$W = \frac{W_{\Sigma}}{S}, \quad (4.25)$$

де  $S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$W_{\Sigma}$  – загальна потужність світлової установки, Вт.

$$W_{\Sigma} = W_{cv} \cdot n_{cv}, \quad (4.26)$$

де  $W_{cv}$  – потужність одного світильника, Вт;

$n_{cv}$  – кількість світильників у приміщенні.

В лабораторії, де плануються проводитись роботи, розташовано 10 світильників номінальною потужністю 375 Вт кожний. Загальна площа приміщення складає 84 м<sup>2</sup>. Виходячи з цього отримаємо:

$$W_{\Sigma} = 375 \cdot 10 = 3750 \text{ Вт}, \quad (4.27)$$

$$W = \frac{W_{\Sigma}}{S} = \frac{3750}{84} = 44,6 \text{ Вт/м}. \quad (4.28)$$

Нормативне значення номінальної потужності для заданих умов складає 42 Вт/м<sup>2</sup>. Отримане значення є задовільним для рівня загального штучного освітлення приміщення лабораторії.

#### *4.17.2 Пожежна безпека в приміщенні лабораторії*

Згідно ДБН В.1.1.7-2002, будівля, в якій знаходиться лабораторія, має II ступінь вогнестійкості, так як дане приміщення виконано з цегли із застосуванням твердих матеріалів, що можуть бути спалені. За пожежонебезпекою приміщення, згідно СНиП 2.09.02-85, відноситься до категорії В. Приміщення має пожежонебезпечні зони, отже відноситься до класу П-Па згідно ПУЕ-2011.

До основного обладнання відносить сам макет, 6 комп'ютерів та макет промислового маніпулятора. Для зменшення небезпеки займання від кабелів живлення їх покривають ізоляційним вогнезахисними покриттями.

Захист проти пожежі досягається застосуванням первинних засобів пожежогасіння. Згідно ДНАОП 0.00-1.31-99 у приміщенні лабораторії розміщується два вуглекислотні вогнегасники ВВКОВ-2 із розрахунку один вогнегасник на три комп'ютери, телефон, встановлений в легкодоступному місці, два пожежних димових оптичних сповіщувача із розрахунку один на 100 м<sup>2</sup>, але не менше двох на одне приміщення, автоматична пожежна сигналізація, яка реагує на появу диму, протипожежне покривало та ящик з піском з об'ємом 0,3 м<sup>3</sup>.

Відповідно до ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ для запобігання пожежі передбачено:

- не поєднувати системи кондиціонування лабораторії та інші приміщення;
- застосовувати загальні або місцеві протипожежні перешкоди;
- навчати групу студентів і обслуговуючий персонал лабораторії протипожежним правилам.

Організаційні заходи включають в себе проведення інструктажів з пожежної безпеки, призначення відповідального за пожежну безпеку, нагляд за засобами пожежогасіння, видання необхідних інструкцій, планів евакуації, наявність індивідуальних засобів захисту.

#### *4.17.3 Охорона праці користувачів персонального комп'ютера*

Робота користувача із програмним модулем управління безпроводним обладнанням має на увазі систематичну і тривалу роботу з програмним

забезпеченням. При цьому мається на увазі перегляд виведеної на екран інформації і її зміна стандартними пристроями введення (миша, клавіатура). Виведення інформації проводиться на екран монітора в текстовій і графічній формах. На підставі сказаного можна зробити висновок про те, що в процесі користування сайтом, користувач проводить весь час за ПК. При цьому на його органи зору впливає випромінювання монітора, використання клавіатури і миші впливає на суглоби рук, шуми монітора підвищують дратівливість людини і впливають на його центральну нервову систему. В результаті можна зробити наступний висновок: користувач сайту піддається всім шкідливим впливам, типовим для стандартного користувача ПК.

Користувач ПК піддається шкідливому впливу, як з боку техніки, так і через неправильно організованого робочого місця і відчуває на собі такі небезпечні фактори:

- вплив електромагнітного і електростатичних полів (від монітора, системного блоку, пристроїв введення/виведення) на внутрішні органи і на деформацію живих клітин;
- випромінювання (рентгенівський, ультрафіолетовий та інфрачервоний спектри);
- вплив шумів і вібрацій на організм;
- вплив ергономіки робочого місця і дизайну зовнішніх пристроїв комп'ютера (клавіатура, миша) на опорно-рухову систему і м'язовий тонус;
- напруга зору (умови освітлення, контраст монітора);
- небезпека ураження електричним струмом;
- нервово-емоційні перевантаження.

Вплив зазначених несприятливих факторів призводить до порушень центральної нервової, серцево-судинної та ендокринної систем, нейротрофічних порушень і патологічних змін, включаючи зміни складу крові, дратівливості, головних болів, погіршення слуху, запаморочення, зниження пам'яті, підвищеної стомлюваності. У користувачів знижується концентрація уваги, швидко настає втома в зв'язку з підвищеними енергетичними витратами і нервово-психічним напруженням. Все це веде до зниження працездатності, продуктивності, якості та безпеки праці.

Тривале перебування людини в зоні комбінованого впливу різних несприятливих факторів може привести до професійного захворювання.

Дотримання вимог до робочого обладнання, аксесуарів і характеру роботи, допоможе усунути шкідливі фактори, що впливають на користувача:

Оскільки існує кілька видів шкідливих впливів, існує і кілька шляхів їх запобігання.

Для захисту від електромагнітних і електростатичних полів допускається застосування екранних фільтрів, спеціальних екранів та інших засобів індивідуального захисту, що пройшли випробування і мають відповідний гігієнічний сертифікат.

При використанні захисних фільтрів, одягаються або вбудовуються в корпус монітора, вони обов'язково повинні бути заземлені.

З метою попередження захворювань користувачів, викликаних впливом випромінювання при роботі на ПК, рекомендується застосовувати монітори зі знизеним рівнем випромінювання, що відповідають міжнародним стандартам MPR-II, TCO'95, TCO'99, і контролювати дотримання працюючими регламентованих режимів праці та відпочинку.

Для зменшення шуму в приміщенні з ПК, як правило, застосовують метод акустичної обробки приміщень, використовуючи для облицювання огорожувальних поверхонь звукопоглинальні матеріали з максимальними коефіцієнтами звукопоглинання ( $\alpha$ ) в інтервалі частот 63 Гц – 8000 Гц. Із цією метою на стелях і стінах розміщують перфоровані панелі з звукопоглинальним наповнювачем. Панелі зміцнюють безпосередньо на поверхні огорожі або з віднесенням від нього на відстань 20 см. В останньому випадку застосування звукопоглинальної облицювання більш ефективно.

Додатковим звукопоглинанням можуть служити однотонні завіси з щільної тканини, що гармоніюють з забарвленням стін і підвішені в складку на відстані 15...20 см від віконного скла. Ширина завіси повинна бути в два рази більше ширини вікна. Знизити рівень шуму можна також, використовуючи для друку малошумні лазерні принтери.

Заходи, що ведуть до усунення нервово-емоційних перевантажень:

- використання зручного і вдосконаленого інтерфейсу. Не допущення використання яскравих контрастних зображень і різку їх зміну, тобто використання в міру можливості набір півтонів;

- виключення присутності на екрані несистематизованої інформації у великій кількості;

- користувачам необхідно забезпечити обчислювальні засоби достатньої швидкодії. Час реакції на запит не повинен перевищувати в середньому 5...10 секунд.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Про вищу освіту [Електронний ресурс] : Закон України від 01.07.2014 р. № 1556-VII // Верховна Рада України : офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text>. – Станом на 10.05.2023. – Назва з екрану.

2. Положення про організацію освітнього процесу в ХНУРЕ [Електронний ресурс] : наказ ХНУРЕ 19.04.2023 р. № 74. // Нормативно-правова база ХНУРЕ : офіційний веб-портал. – Режим доступу: [https://nure.ua/wp-content/uploads/Main\\_Docs\\_NURE/polozhennja-pro-organizaciju-osvitnogo-procesu-v-hnure-2023.pdf](https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-organizaciju-osvitnogo-procesu-v-hnure-2023.pdf). – Станом на 10.05.2023. – Назва з екрану.

3. Положення про протидію академічному плагіату в Харківському національному університеті радіоелектроніки [Електронний ресурс] : наказ ректора ХНУРЕ від 28.04.2017 р. № 290 // Нормативно-правова база ХНУРЕ : офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://nure.ua/universytet/normativno-pravova-baza#id13>. – Станом на 18.09.2021. – Назва з екрану.

4. Положення про порядок створення та організацію роботи екзаменаційних комісій з атестації здобувачів вищої освіти ступенів бакалавр, магістр (спеціаліст) [Електронний ресурс] : наказ ректора ХНУРЕ від 09.02.2015 р. № 40 // Нормативно-правова база ХНУРЕ : офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://nure.ua/universytet/normativno-pravova-baza#id13>. – Станом на 18.09.2021. – Назва з екрану.

5. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлювання. – [На заміну ДСТУ 3008-95 ; чинний від 2017-07-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.

6. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання (ГОСТ 7.1-2003, IDT) : ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 57 с.

7. Стандарт вищої освіти за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти [Електронний ресурс] : наказ Міністерства освіти і науки України від 04.10.2018 р. № 1071 // Міністерство освіти і науки України : офіційний веб-портал. – Станом на 18.09.2021. – Режим доступу: <https://mon.gov.ua>.

8. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форми навчання

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипенко, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2023. – 64 с.

9. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: навч. посібник / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. В. Токарева, Г. В. Пономарьова. – Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016. – 245 с.

10. Методичні вказівки до виконання дипломних проектів (робіт) для студентів напряму підготовки 6.051003 «Приладобудування», професійного спрямування «Прилади і системи орієнтації та навігації»; 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, спеціалізації «Комп'ютерно-інтегровані технології і системи навігації та керування»; освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр, денної форми навчання, електронне видання / Укл.: П. М. Бондар, В. В. Мелешко. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 36 с.

11. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації. Збірник задач : навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, Г. В. Пономарьова, А. О. Функендорф ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Кривий Ріг : КК НАУ, 2018. – 332 с.

12. Невлюдов І. Ш. Технологія програмування промислових контролерів в інтегрованому середовищі CODESYS : навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, С. П. Новоселов, О. В. Сичова ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2019. – 264 с. : іл. – ISBN 978-966-659-265-4.

13. Оформлення технічної документації : навч. посіб. / В. В. Семенець, І. Ш. Невлюдов, А. М. Сінотін, С. В. Сотник ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2021. – 148 с. – ISBN 978-966-659-302-6 ; DOI: 10.30837/978-966-659-302-6.

14. Филипенко О. І. Автоматизоване управління технологічним процесом витягування мікроструктурованих оптичних волокон : моногр. / О. І. Филипенко, І. Ш. Невлюдов, Г. В. Пономарьова ; М-во освіти і науки України. – Харків : БУРУН і К, 2015. – 132 с. : іл. – ISBN 978-966-8391-50-7.

15. Автоматизація виробничих процесів : підруч. / І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В. М. Сідлецький, С. М. Швед ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харчових технологій. – 2-е вид., випр. – Київ : Ліра-К, 2016. – 378 с. : іл. – ISBN 978-966-2609-81-3.



16. Невлюдов, І.Ш. Теорія автоматичного управління (збірник задач) [Текст]: навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, О.В.Токарева. – Харків: ХНУРЕ, 2020. – 240 с.

17. Невлюдов І.Ш. Пневматичні пристрої та засоби автоматизації мехатронних систем: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, Л.О. Кривопляс-Володіна, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. – Харків: ФОП Панов А.М., 2020 . – 256 с. DOI: 10.30837/978-617-7859-58-0. ISBN 978-617-7859-58-0.

18. Novoselov S., Sychova O. Automated system of technological preparation of production. Intelligent computer-integrated information technology in project and program management : Collective monograph edited by I. Linde, I. Chumachenko. Riga : ISMA. pp.207-224, 2020. DOI: <https://doi.org/10.30837/MMP.2020.207>. ISBN 978-9984-891-15-6.

19. Невлюдов І.Ш. Електропневмоавтоматичні приводи в автоматизованих системах керування: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, Л.О. Кривопляс-Володіна, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2021 . – 292 с. DOI: 10.30837/978-966-659-332-3. ISBN 978-966-659-332-3.

20. Автоматизація процесів з'єднання фотонно-кристалічних волокон: монографія / О.І. Филипенко, І.Ш. Невлюдов, О.В. Сичова. – Харків: Видавництво Іванченка І. С., 2022. – 142 с. DOI: 10.30837/978-617-8059-30-9. ISBN 978-617-8059-30-9.

21. Автоматизація бізнес-процесів : [навч. посіб.] / Н. В. Косенко, Ю. Ю. Гусєва, І. В. Чумаченко, Ш. А. Омаров ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2019. – 80 с. – ISBN 978-966-659-261-6.

22. Невлюдов І. Ш. Механізми технічних засобів автоматизації. Довідкові матеріали з курсового і дипломного проектування : навч. посібник / І. Ш. Невлюдов, В. І. Роменський, І. О. Яшков ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2021. – 292 с. – ISBN ISBN 978-966-659-301-9.

23. Невлюдов І. Ш. Управління якістю виробів : навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів / І. Ш. Невлюдов, Д. А. Янушкевич, Л. С. Іванов ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2021. – 364 с. – ISBN 978-966-659-333-0.

24. Нефьодов Л. І. CALS-технології і системи : навч. посіб. / Л. І. Нефьодов, І. Ш. Невлюдов, В. В. Безкоровайний ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2021. – 272 с. – ISBN 978-966-659-326-2.

25. Конспект лекцій з дисципліни "Технічні засоби автоматизації" для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" спеціалізації "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" спеціалізації. Ч. 1 / упоряд.: В. І. Роменський, Н. П. Демська; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2018. – 100 с. : іл.

26. Конспект лекцій з дисципліни «Технічні засоби автоматизації» Ч.2: «Електронні компоненти засобів автоматизації» для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-проф [Електронний ресурс] / Упоряд. : В. Ю. Грицюк ; М-во освіти і науки України, ХНУРЕ. – Електрон. вид. – Харків : ХНУРЕ, 2021.

27. Невлюдов І. Ш. Автоматичне управління технологічними об'єктами [Електронний ресурс] : Підручник / І. Ш. Невлюдов, О. В. Токарева ; М-во освіти і науки України, ХНУРЕ. – Харків : ХНУРЕ, 2018. – 119 с.

28. Невлюдов І.Ш. Автоматизована система керування технологічними процесами в SCADA системі TRACE MODE 6: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, В.В. Євсєєв, С.С. Максимова, М.Г. Стародубцев, В.В.Невлюдова. Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2018. 320 с.

29. Моделі та методи кіберфізичних виробничих систем в концепції Industry 4.0 : монографія / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, А. О. Андрусевич, С. С. Максимова ; – Oktan Print – Prague. 2023. – 321 с.

30. Невлюдов І.Ш. Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва технічних засобів автоматизації. Частина 1: Підручник Харків: ФОП Панов А.М., 2021., 604 с. ISBN 978-617-7947-67-6.

31. Невлюдов І.Ш. Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва технічних засобів автоматизації. Частина 2: Підручник Кривий Ріг: видавець Чернявський Д.О., 2022 – 424 с.з іл. ISBN 978-617-8045-44-9.

## ДОДАТОК А

Зразок бланка завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший (бакалаврський) \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_

(код і повна назва)

Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_

Освітня програма \_\_\_\_\_

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

затверджена наказом університету від \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка

Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис) \_\_\_\_\_  
(посада, прізвище, ініціали)

## ДОДАТОК Б

Форма заяви щодо самостійності виконання письмової роботи

### ЗАЯВА

щодо самостійності виконання письмової роботи

Я, \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

посада \_\_\_\_\_

кафедра \_\_\_\_\_

заявляю: моя письмова робота на тему \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (назва роботи)

представлена у \_\_\_\_\_  
(спеціалізовану вчену раду, екзаменаційну комісію тощо)

для публічного захисту, виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел, а також із раніше виконаних дослідницьких робіт та захищених кандидатських і докторських дисертацій мають відповідні посилання. Я ознайомлений (а) з діючим положенням «Про протидію плагіату в ХНУРЕ», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску письмової роботи до захисту та застосування дисциплінарних заходів.

Дата

Підпис

## ДОДАТОК В

Форма експертного висновку результатів перевірки на унікальність тексту

Експертний висновок  
результатів перевірки на унікальність тексту  
в мережі Інтернет (базі ХНУРЕ)

Відповідно до даних програми \_\_\_\_\_  
(назва електронної антиплагіатної програми)  
письмової роботи \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(вид та назва роботи),  
автора (ів): \_\_\_\_\_  
містить \_\_\_\_\_ % авторського тексту.

Експерт \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(Прізвище, ініціали)

Дата

## ДОДАТОК Г

### Форма відгуку керівника роботи

#### Відгук

#### керівника кваліфікаційної роботи бакалавра

Студента \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові, група)

\_\_\_\_\_  
(номер та назва спеціальності, освітньої програми)

Тема випускної роботи бакалавра \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Відгук складається у довільній формі і має містити дані, які наведені в даних методичних вказівках.

Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_  
(місце роботи, посада)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ДОДАТОК Д

### Форма рецензії на роботу

#### Рецензія

На роботу студента гр. \_\_\_\_\_  
(шифр групи)

\_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність, освітня програма \_\_\_\_\_  
(номер, назва)

Тема роботи \_\_\_\_\_

Структура роботи:

- пояснювальна записка \_\_\_\_\_ сторінок;
- графічна частина \_\_\_\_\_ аркушів.

Рецензія складається у довільній формі з відображенням вимог до рецензії на роботу, які наведені в даних методичних вказівках.

Рецензент \_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали, посада, місце роботи)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. \_\_\_\_\_  
(підпис)



## ДОДАТОК Е

Критерії оцінювання результатів виконання і захисту кваліфікаційної роботи

№	Критерії	Макс. кількість балів	Зміст критеріїв оцінювання	Оцінка в балах
1	Актуальність теми, її відповідність сучасним вимогам	5	відповідає повністю	5
			відповідає неповністю	3
			відповідає недостатньо	1
			відповідність відсутня	0
2	Повнота, науковий рівень обґрунтування розробок та запропонованих рішень відповідно до завдання	25	повно та обґрунтовано	26-16
			недостатньо	15-6
			неповно та недостатньо	5
3	Практична цінність розробок та запропонованих рішень	10	висока практична цінність	10-6
			практична цінність часткова	5-4
			окремі елементи мають практичну цінність	3-2
			не має практичної цінності	0
4	Відповідність роботи та її оформлення нормативним актам України, національним стандартам	10	достатньо повна, висока якість	10-6
			недостатньо повна, прийнятна якість	5-4
			достатньо повна, висока якість	3-2
			недостатньо повна, невисока якість	0
5	Змістовність доповіді та відповідей на запитання членів ЕК під час захисту	50	повні, послідовні, логічні	50-31
			недостатньо повні, послідовні, логічні	30-11
			непослідовно та нелогічно побудовані доповідь, неповні відповіді на запитання	10-1
			відсутні або незадовільні відповіді на питання	0
Разом		100		

## ДОДАТОК Ж

Зразок бланка титульного аркуша пояснювальної записки  
кваліфікаційної роботи бакалавра

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Кафедра \_\_\_\_\_  
(повна назва)

### **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА** **Пояснювальна записка**

рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший (бакалаврський) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(тема)

Виконав:  
студент \_\_\_\_\_ курсу, групи \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
Освітня програма \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
( повна назва освітньої програми)

Керівник \_\_\_\_\_  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

20\_\_ р.



## ДОДАТОК И

### Приклад оформлення реферату

#### РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 64 с., 4 табл., 22 рис., 2 дод., 15 джерел.

#### АВТОМАТ РОБОТИЗОВАНИЙ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ВИРОБНИЦТВО, ЕЛЕКТРОРАДІОЕЛЕМЕНТ, МІКРОКОНТРОЛЕР, ПРОГРАМУВАННЯ

Об'єкт розробки – макет роботизованого автомата видачі електрорадіоелементів.

Мета роботи – проектування та складання макету роботизованого автомата видачі електрорадіоелементів, що дозволяє видавати користувачу певний елемент за потреби для подальшого використання.

Методи дослідження – порівняльний аналіз роботизованих автоматів, експериментальне випробування видачі електрорадіоелементів.

В атестаційній роботі розглянуто актуальні питання за темою, запропоновані рішення з автоматизації процесів на сучасному виробництві. Спроектовано та створено макет роботизованого автомата видачі електрорадіоелементів; реалізована видача елементів за допомогою натискання певної кнопки на клавіатурі. Проведено випробування та аналіз похибки в процесі захвату електрорадіоелементів.

Розроблений макет може використовуватись у навчальному процесі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, для допомоги студентам у дослідженні систем автоматизації виробництва, електромеханіки, механіки, робототехніки та основ програмування. Може використовуватись на виробництві для послідовної видачі електрорадіоелементів.

За результатами роботи опубліковано статтю у науково-технічному журналі та тези доповіді у збірнику міжнародної конференції.

## ДОДАТОК К

Приклади записів у переліку посилань згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006

*Книга одного автора:*

Азаренкова Г. М. Аналіз моделювання і управління ризиком (в схемах та прикладах) : навч. посіб. / Г. М. Азаренкова ; Нац. банк України, Ун-т банківської справи, Харків. ін-т банківської справи. – Львів : Новий Світ-2000, 2017. – 240 с. : іл. – ISBN 978-966-418-132-4.

*Книга двох авторів:*

Бичков О. С. Об'єктно-орієнтоване програмування мовою C# : підруч. / О. С. Бичков, Є. В. Іванов ; М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка. – Київ : Київ. ун-т, 2018. – 207 с. – ISBN 978-966-439-965-1.

*Книга трьох авторів:*

Невлюдов І. Ш. Технологія програмування промислових контролерів в інтегрованому середовищі CODESYS : навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, С. П. Новоселов, О. В. Сичова ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2019. – 264 с. : іл. – ISBN 978-966-659-265-4.

*Книга чотирьох авторів:*

Основи наукових досліджень : [навч. посіб.] / І. Ш. Невлюдов, Ю. М. Олександров, А. О. Андрусевич, О. О. Чала ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Кривий Ріг : КК НАУ, 2017. – 344 с.

*Книга п'яти авторів і більше:*

Промисловий Ethernet для MODBUS. Модуль 2 : навчальні матеріали для курсу Промислові мережі / В. Воропаєва, О. Вовна, В. Тарасюк и др. ; М-во освіти та науки України, Донец. нац. техн. ун-т. – Одеса : ФОП Побута М. І., 2017. – 68 с.

*Перекладне видання:*

Мартін Роберт. Чистий Agile: назад до основ / пер. з англ. В. Луненко. — Харків : Вид-во «Ранок» : Фабула, 2021. — 224 с. — ISBN 978-617-09-6760-2.

*Книги із назвою:*

Басюк Т. М. Основи інформаційних технологій : навч. посіб. / Т. М. Басюк, Н. О. Думанський, О. В. Пасічник ; за наук. ред. В. В. Пасічника ; М-во освіти і науки України. – Львів : Новий Світ-2000, 2017. – 390 с. : іл. – (Комп'ютинг). – ISBN 978-966-418-121-8.

*Статі з журналів:*

Филипенко, О.І. Моделювання впливу структури фотонно-кристалічних волокон на розподіл модового поля та втрати оптичного сигналу в їх з'єднаннях / О.І. Филипенко, О.В. Сичова // Радіотехніка. – Харків: ХНУРЕ. – 2012. – Вип. 171. – С. 327-331.

*Збірники наукових праць:*

Сучасні проблеми розвитку права та економіки в інноваційному суспільстві: зб. наук. праць за матеріалами Міжнародної науково-практичної конференції, 20 березня 2020 р. / за ред. М. Петрової, С. Глібка. – Велико-Тирново, Болгарія : ACCESS PRESS. – 2020. – 278 с.

*Тези конференцій:*

Підвищення надійності машин і обладнання : зб. тез доп. VII Всеукр. наук.-практ. конф. студентів та аспірантів – Кіровоград: КНТУ, 2013. – 215 с.

*Матеріали конференцій:*

Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті : матеріали XXIV Міжнар. молодіж. форуму, 7-9 квіт. 2020 р. Т. 2. Конференція "Автоматизовані системи та комп'ютеризовані технології радіоелектронного приладобудування" / М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2020. – 188 с.

*Стандарти, техніко-економічні та технічні документи:*

ДСТУ 4826 : 2007. Інформація та документація. Видання інформаційні. Загальні вимоги (ISO 8:1977, NEQ ; ISO 1086:1991, NEQ) / Національний стандарт України. – уведено вперше 2009-01-01 (зі скасуванням в Україні ГОСТ 7.23-80. – Київ : Держспоживстандарт України, 2008. – 10 с.

*Авторські свідоцтва, патенти:*

MEMC-інтерфейс багатоточкових автоматичних контролюючих комплексів [Електронний ресурс] : пат. 98539 Україна / Жарікова І. В., Костенко З. І., Невлюдов І. Ш., Палагін В. А., Разумов-Фризюк Є. А. ; ХНУРЕ, 2006. – № а 2010 11390 ; заявл. 24.09.2010 ; опубл. 25.02.2011, Бюл.№ 4. – 6 с.

*Звіти про НДР:*

Теоретичні основи створення перспективних компонентів та нових технологій їх виробництва для широкого класу волоконно - оптичних систем : звіт про НДР (заключ.) / МОН України, ХНУРЕ ; наук. рук. І.Ш. Невлюдов ; викон. О.І. Филипченко та ін. – Харків, 2008. – 275 с.

*Електронні ресурси:*

*Віддаленого доступу:*

Про вищу освіту [Електронний ресурс] : Закон України від 01.07.2014 р. № 1556-VII // Верховна Рада України : офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text>. – Станом на 18.09.2021. – Назва з екрану.

*Локального доступу:*

Романчиков В. І. Основи наукових досліджень [Електронний ресурс] / В. І. Романчиков. – Київ : ЦУЛ, 2012. – 1 електрон. цифровий диск (CD – ROM). – Назва з етикетки диска.

## ДОДАТОК Л

### Коди виробів і програмних документів

#### Коди виробів:

- 306558 – модулі;
- 406110 – пристрої числового програмного керування верстатами у машинобудуванні;
- 406210 – пристрої числового програмного керування роботами у машинобудуванні;
- 411710 – системи інформаційно-вимірювальні;
- 411720 – пристрої для вимірювання електричних і магнітних величин;
- 412150 – пристрої комбіновані;
- 416616 – пристрої керування;
- 416633 – пристрої для реєстрації;
- 418240 – вузли детекторів;
- 418250 – пристрої детектування;
- 418455 – блоки електроні, електричні;
- 464430 – модуль програмного керування роботами;
- 468340 – модуль комутації;
- 758800 – плати друковані на гнучкій основі;
- 758713 – плати друковані на жорсткій основі.

#### Коди програмних документів:

- 501600 – програмні засоби автоматизації технології програмування;
- 502100 – системи керування базами даних;
- 502810 – експертні системи та засоби їх створення;
- 502900 – програмні засоби загального призначення інші;
- 503300 – програмні засоби для автоматизації наукових досліджень;
- 503320 – програмні засоби для управління складними приладами та системами;
- 504300 – програмні засоби для САПР;
- 504390 – програмні засоби для систем автоматизованого проектування;
- 504400 – програмні засоби для систем автоматизації технологічної підготовки виробництва;
- 505200 – програмні засоби для АСУ ТП;
- 505300 – програмні засоби для управління гнучкими виробничими системами;
- 505400 – програмні засоби для систем управління рухомими об'єктами;
- 505500 – програмні засоби для автоматизованих робочих місць;
- 505900 – програмні засоби для управління технічними об'єктами і технологічними процесами інші;
- 565100 – програмні засоби для локальних мікропроцесорних систем контролю, регулювання управління технологічними процесами.

Навчальне видання

НЕВЛЮДОВ Ігор Шакирович  
ФИЛИПЕНКО Олександр Іванович  
ТОКАРСЬВА Олена Віталіївна  
НОВОСЕЛОВ Сергій Павлович  
СИЧОВА Оксана Володимирівна

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК  
З ПІДГОТОВКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА**

для здобувачів вищої освіти денної і заочної форми навчання  
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

В авторській редакції

---

Формат 60x84/16.

Ум. друк. арк. – 8,8. Наклад 200 пр. Зам. № 18-05.

Видавництво та друк

ФОП Іванченко І. С.

пр. Тракторобудівників, 89-а/62, м.Харків, 61135.

Тел +38-050-40-243-50.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до державного реєстру видавців, виготівників та розповсюджувачів  
видавничої продукції серія ДК №4388 від 15.08.2012 р.

[www.monograf.com.ua](http://www.monograf.com.ua)



ДЛЯ НОТАТОК