

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ

Група АКП-23-1К

Бойко Володимир

2025

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Бойко Володимир Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК

681.53

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Автоматизація буріння за допомогою колтюбінгової установки

(назва роботи)

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(назва освітньої програми)

174 - Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Нормоконтроль

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

О.В. Кучмистенко

(ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

В.С. Борин

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-23-1К

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

В.В. Бойко

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

О.В. Кучмистенко

(ініціали та прізвище)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

А.І. Лагойд.

«___» _____ 2025 року

**З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Бойко Володимир Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація буріння за допомогою колтбюбінгової установки

керівник роботи Кучмистенко Олександр Васильович к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 07 » травня 2025 року № 52/8

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи матеріали переддипломної практики,

методичні вказівки, технічна література, інтернет-ресурс.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Вступ

2. Аналіз технологічного процесу автоматизації колтбюбінгової установки як об'єкта контролю і керування

3. Математичне моделювання і ідентифікація об'єкта керування

4. Синтез та аналіз системи автоматичного керування

5. Розробка проектної складової САК

6. Загальні висновки

Перелік посилань на джерела.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Лист 1 – Схема електрична – БР.АКП – 05.00.00.000 01

Лист 2 – Специфікація – БР.АКП – 05.00.00.000 02

Лист 3 – Функціональна схема – БР.АКП – 05.00.00.000 03

Лист 4 – Технологічна схема – БР.АКП – 05.00.00.000 04

Лист 5 – Схема щита управління – БР.АКП – 05.00.00.000 05

Лист 6 – Схема підключення приладів – БР.АКП – 05.00.00.000 06

Лист 7 – Схема сигналізації – БР.АКП – 05.00.00.000 07

Лист 8 – Схема сигналізації Х-4 – БР.АКП – 05.00.00.000 08

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 06.11.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу буріння свердловин за допомогою колтюрбінгової установки як об'єкта автоматизації	13.05.2025 р.	
2	Ідентифікація об'єкта керування та синтез системи автоматизованого регулювання процесу буріння	11.05.2025 р.	
3	Розвиток системи автоматизованого керування бурінням на основі інтелектуальних технологій	13.05.2025 р.	
4	Розробка системних рішень для автоматичної системи керування колтюрбінговою установкою	21.05.2025 р.	

Студент _____
(підпис)

Бойко В.В. _____
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

О.В. Кучмистенко _____
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 58 сторінок друкованого тексту, 27 рисунків, 2 таблиць, 6 переліків посилань на джерела і 10 додатки.

Тема: «Автоматизація буріння за допомогою колтюрінгової установки».

Об'єкт дослідження: процес буріння із застосуванням колтюрінгової установки.

Мета роботи: удосконалення схеми автоматизації процесу буріння за допомогою колтюрінгової установки. Для цього в роботі впроваджено сучасне обладнання та нові технічні засоби автоматизації, що відповідають вимогам точності та економічної ефективності. Також для забезпечення якісної роботи системи були обрані параметри регуляторів, які гарантують досягнення заданих показників якості.

Методи дослідження: експериментальне моделювання автоматизованої системи керування процесом буріння із використанням колтюрінгової установки.

Результати бакалаврської роботи: для досягнення поставленої мети здійснено опис технологічної схеми процесу буріння з використанням колтюрінгової установки, наведено технічні характеристики основного обладнання. Проведено вибір та обґрунтування параметрів контролю і регулювання. Здійснено математичний опис об'єкта керування. На основі експериментальних даних змодельовано автоматизовану систему контролю витрат. За допомогою програмного пакету Matlab розраховано параметри налаштування регуляторів для одноконтурної системи автоматичного регулювання. Проведено аналіз показників якості роботи системи після синтезу регуляторів

Ключові слова: колтюрінгова установка, автоматизація буріння, регулятор, контроль.

ABSTRACT

The bachelor's thesis contains: 58 pages of printed text, 27 figures, 2 tables, 6 references, and 10 appendices.

Topic: "Automation of Drilling Using a Coiled Tubing Unit."

Object of research: the drilling process using a coiled tubing unit.

The aim of the work: improving the automation scheme of the drilling process using a coiled tubing unit. For this purpose, modern equipment and new technical means of automation are implemented in the project, which meet the requirements of accuracy and economic efficiency. In addition, to ensure high-quality system performance, regulator parameters were selected to guarantee the achievement of the required quality indicators.

Research methods: experimental modeling of an automated control system for the drilling process using a coiled tubing unit.

Results of the bachelor work: to achieve the set goal, the technological scheme of the drilling process with the use of a coiled tubing unit was described, and the technical characteristics of the main equipment were provided. The selection and justification of control and regulation parameters were carried out. A mathematical description of the control object was completed. Based on experimental data, an automated flow control system was modeled. Using the Matlab software package, the tuning parameters of controllers for a single-loop automatic control system were calculated. The system's quality indicators were analyzed after the synthesis of the controllers.

Keywords: coiled tubing unit, drilling automation, controller, control.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОЛТЮБІНГОВОЇ УСТАНОВКИ ЯК ОБ'ЄКТА КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ	11
1.1 Призначення установки та суть процесу	11
1.2 Характеристика продукції, сировини та реагентів	13
1.3 Аналіз технологічної схеми установки.....	16
1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання	17
1.5 Вибір та обґрунтування параметрів контролю і регулювання.....	20
Висновки до розділу	22
2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	23
2.1 Обґрунтування вибору об'єкта автоматизації.....	23
2.2 Визначення характеристик об'єкта автоматизації.....	25
Висновки до розділу	29
3. СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ	30
3.1 Синтез одноконтурної системи автоматичного керування	30
3.2 Синтез ефективних систем автоматичного керування.....	31

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація буріння за допомогою колтюбінгової установки	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Бойко В.В.						
Перевір.		Кучмистенко О.В.					6	58
Реценз.		Борин В.С.				Група АКП-23-1К ІФНТУНГ		
Н. Контр.								
Затверд.		Лагойда А.І.						

3.3 Аналіз роботи розроблених систем автоматичного керування.....	33
Висновки до розділу	39
4. РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ СКЛАДОВОЇ САК.....	40
4.1 Вибір технічних засобів автоматизації.....	40
4.2 Розробка функціональної схеми автоматизації	42
4.3 Розробка додаткових проектних рішень.....	43
4.4 Розробка проектних рішень для системи керування.....	48
4.5 Розробка програмного забезпечення для ПЛК	52
4.6 Оцінка проектної надійності.....	54
Висновки до розділу	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	57
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА	58
ДОДАТКИ.....	59

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АР	Автоматичне регулювання
АРМ	Автоматизоване робоче місце
АСУ ТП	Автоматизована система управління технологічним процесом
АС (АСУ)	Автоматизована система (автоматизована система управління)
КУ	Колтубінгова установка
ЗРА	Запірно-регулююча арматура
ВК	Вимірювальний канал
ВМ	Виконавчий механізм
ВС	Вимірювальна система
ДБЖ	Джерело безперебійного живлення
КВП	Контрольно-вимірювальні прилади
КТС	Комплекс технічних засобів
ЛОМ	Локальна обчислювальна мережа
МВ	Методика вимірювання
НТД	Нормативно-технічна документація
ПЛК	Програмований логічний контролер
РД	Робоча документація
ІЕ	Інструкція з експлуатації
САР	Система автоматичного регулювання
СКУ	Засоби контролю і управління
СО	Станція оператора
ТЕП	Техніко-економічні показники
ТП	Технологічний процес
ТУ	Технічні умови
ЦПУ	Центральний пульт управління

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

Сучасна нафтогазова галузь висуває жорсткі вимоги до ефективності та безпеки виконання інженерно-технологічних операцій у свердловинах. Одним із прогресивних рішень у цьому напрямку є використання колтюрінгових установок — мобільних і високотехнологічних комплексів, здатних виконувати буріння, очищення, ремонтні роботи та інші операції без зупинки процесу видобутку. Застосування безперервної гнучкої труби замість традиційної бурильної колони дозволяє істотно скоротити час проведення операцій, знизити витрати і виробничі ризики, а також підвищити загальну продуктивність.

Втім, результативність функціонування колтюрінгової установки напряму залежить від рівня її автоматизації. Особливо критичним є точне регулювання параметрів, таких як рівень бурового розчину, тиск, температура, швидкість подачі труби та інші ключові величини. Відхилення в стабільності рівня розчину можуть призвести як до «сухого ходу» насосів, так і до переповнення ємностей, що несе ризик аварій. У зв'язку з цим особливо актуальним є питання розробки надійної автоматизованої системи контролю та управління технологічними параметрами в межах колтюрінгової установки.

Актуальність теми визначається необхідністю вдосконалення існуючих систем керування мобільними буровими установками, підвищенням точності й швидкодії регулювання, а також вимогами до інтеграції таких систем у сучасні SCADA-комплекси з можливістю дистанційного моніторингу й керування.

Метою цієї роботи є створення апаратно-програмного комплексу для автоматизованого регулювання рівня бурового розчину в циркуляційній ємності колтюрінгової установки.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- провести аналіз конструкції колтюрінгової установки як об'єкта автоматизації;
- визначити вимоги до системи керування;

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- побудувати математичну модель об'єкта та розробити ПІД-регулятор;
- змодельовати роботу системи в середовищі MATLAB/Simulink;
- проаналізувати якісні характеристики перехідного процесу;
- технічно обґрунтувати вибір засобів автоматизації;
- розробити структурну та функціональну схеми системи.

Об'єктом дослідження виступає циркуляційна ємність бурового розчину, яка входить до складу колтюбінгової установки. Предметом дослідження є методи та технічні засоби автоматизованого регулювання рівня рідини в процесі буріння.

У роботі використано такі методи: математичне моделювання систем регулювання в середовищі MATLAB/Simulink, теоретичний аналіз динаміки та стійкості системи, синтез регуляторів на основі аперіодичного оптимуму, а також підбір і обґрунтування апаратних компонентів відповідно до промислових вимог.

Наукова новизна дослідження полягає в реалізації двоконтурної системи керування, яка забезпечує одночасне регулювання подачі та відкачування бурового розчину. Це дозволяє точно стабілізувати рівень навіть за умов змінних збурень. У роботі також враховано специфіку динаміки гнучкої труби та характеристик насосного обладнання.

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОЛТЮБІНГОВОЇ УСТАНОВКИ ЯК ОБ'ЄКТА КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ

1.1 Призначення установки та суть процесу

У сучасних умовах розвитку нафтогазової промисловості значна увага приділяється технологіям, що дозволяють підвищити ефективність видобутку вуглеводнів при одночасному зменшенні витрат часу, ресурсів і ризиків. Одним із таких рішень є застосування колтюрбінгових установок — мобільних гнучкотрубних комплексів, що забезпечують можливість проведення широкого спектра операцій без зупинки видобутку і демонтажу устя свердловини.

Колтюрбінг (англ. coiled tubing) — це технологія подавання безперервної металевої труби у свердловину з метою здійснення різних інженерно-технологічних операцій. На відміну від класичних бурильних колон, які потребують поетапного складання та розбирання, гнучка труба змотується на барабан і подається в свердловину за допомогою інжектора. Такий підхід суттєво скорочує тривалість операцій, дозволяє виконувати роботи в складних геологічних умовах, зокрема в горизонтальних та похило-скерованих свердловинах.

Основне призначення колтюрбінгової установки полягає у виконанні таких задач:

- буріння свердловин малих діаметрів;
- очищення стовбура від піску, парафіну або глинистих нашарувань;
- кислотна обробка привибійної зони;
- закачування реагентів (інгібіторів корозії, цементних розчинів тощо);
- фрезерування та змивання залишків обладнання з внутрішніх стінок обсадних труб;
- ремонтні, профілактичні та сервісні операції без перерви у видобутку.

До складу типової колтюрбінгової установки входять наступні функціональні вузли: барабан з гнучкою трубою, що виступає резервуаром для

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

зберігання та подачі труби; інжекторна головка — механізм подачі труби в устя свердловини із заданою швидкістю; силовий насосний блок, який забезпечує закачування рідини або реагенту в свердловину; гідравлічна система управління для координації роботи виконавчих механізмів; резервуари для робочих розчинів; датчики тиску, рівня, температури та витрати, які контролюють основні параметри процесу; а також програмований логічний контролер (ПЛК), що здійснює збір даних, обробку сигналів і реалізацію алгоритмів керування.

У процесі роботи установка функціонує в безперервному циклі: труба подається в свердловину, насос закачує розчин, який, циркулюючи, виконує технологічну функцію (промивка, розчинення, транспортування), після чого відпрацьована рідина повертається на поверхню для очищення або утилізації.

Управління технологічним процесом реалізується через автоматизовану систему керування (АСК), побудовану на базі ПЛК. Система забезпечує:

- стабілізацію технологічних параметрів (рівня, тиску, витрати);
- візуалізацію процесу на панелі оператора;
- аварійну сигналізацію;
- ручний, автоматичний та дистанційний режими роботи.

Наявність системи автоматичного регулювання є критично важливою для безпечної та ефективної роботи установки, оскільки вона дозволяє уникати аварій, пов'язаних із переповненням чи висушуванням ємностей, знижувати енергоспоживання насосного обладнання, а також покращувати точність закачування реагентів у свердловину. Автоматизоване регулювання рівня реалізується за допомогою датчиків, що передають сигнал у форматі 4–20 мА на аналоговий вхід ПЛК. На основі ПІД-алгоритму розраховується керуючий вплив, який подається на частотний перетворювач електропривода насоса.

Узагальнена схема процесу представлена на технологічній схемі (рис. 1.1), яка демонструє взаємозв'язок основного обладнання, трубопроводів і контурів автоматизації.

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

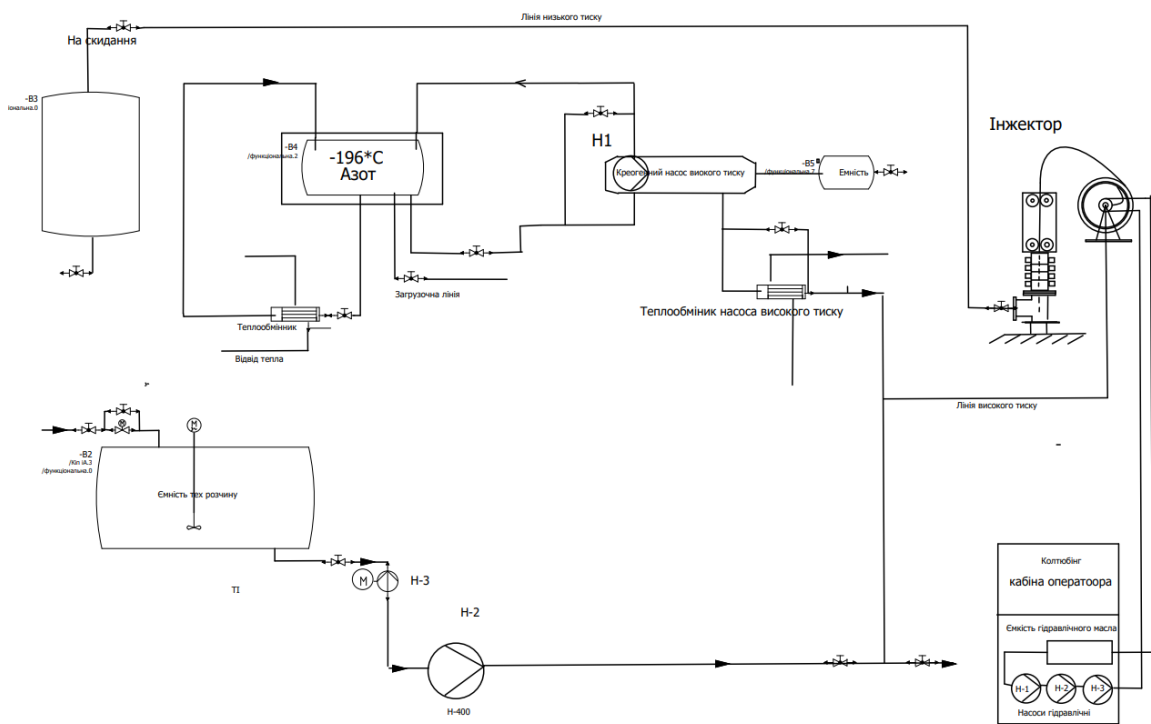


Рисунок 1.1 — Технологічна схема колтубінгової установки

1.2 Характеристика продукції, сировини та реагентів

У межах роботи колтубінгової установки основна технологічна мета полягає у забезпеченні ефективного проведення операцій у свердловині із застосуванням відповідних реагентів та матеріалів. Це дає змогу не лише виконувати необхідні технологічні завдання, але й підтримувати стабільну та безпечну роботу свердловини навіть за складних гірничо-геологічних умов. Колтубінгова технологія дозволяє виконувати широкий спектр робіт, починаючи від очищення стовбура свердловини та стимуляції припливу, і закінчуючи герметизацією ускладнених зон чи проведенням ремонтних операцій без зупинки видобутку.

Кінцевим результатом (продукцією) роботи колтубінгової установки є відновлення або підтримання дебіту свердловини, що забезпечує безперервний і економічно вигідний видобуток корисних копалин. Крім того, до важливих результатів належать забезпечення герметизації ускладнених зон для запобігання міжпластовим перетокам та втратам флюїду, зниження питомих втрат бурового розчину, а також покращення проникності привибійної зони, що

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

сприяє ефективному припливу нафти, газу чи конденсату до стовбура свердловини. У деяких випадках додатковим продуктом може виступати повернутий очищений технологічний розчин, що циркулює в системі, — за умови його повторного використання це забезпечує економію ресурсів та зниження впливу на навколишнє середовище.

Основна сировина, що використовується у процесі, включає гнучку металеву трубу, буровий розчин і різноманітні робочі рідини. Гнучка труба виготовляється зі сталі з антикорозійним покриттям, має високу пластичність і механічну міцність, що дозволяє їй витримувати багаторазові цикли згинання та розгортання без втрати експлуатаційних властивостей. Труба подається з барабана через інжектор в обсадну колону свердловини, де безперервно працює під впливом навантажень і агресивного середовища.

Для проведення основних операцій широко застосовується буровий розчин, який зазвичай представляє собою глинисту суспензію на водній основі з додаванням бентоніту. До складу розчину також входять полімерні загусники, стабілізатори та антикорозійні компоненти, які забезпечують оптимальні реологічні властивості суміші. Основними функціями бурового розчину є винесення вибуреної породи на поверхню, створення необхідного гідростатичного тиску на стінки свердловини для запобігання обвалам, а також охолодження і змашування інструмента під час виконання технологічних операцій.

Окрім бурового розчину, застосовуються робочі рідини різного призначення. Зокрема, азот або азотно-пінні суміші використовуються для зменшення гідростатичного тиску у свердловині, що особливо важливо під час операцій на родовищах із низьким пластовим тиском чи при необхідності уникнення втрат у продуктивний пласт. Кислотні розчини (наприклад, соляна HCl або плавикова HF кислоти) застосовуються для обробки привибійної зони з метою розчинення карбонатних або глинистих відкладень, що сприяє покращенню проникності породи. Солянка з додаванням поверхнево-активних

										Арк.
										14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ					

речовин (ПАР) використовується для зниження міжфазної напруги та полегшення очищення стовбура свердловини від залишків нафти, глини чи інших забруднень.

Важливу роль у технологічному процесі відіграють реагенти. Інгібітори корозії застосовуються для захисту металу труби та внутрішніх компонентів обладнання від агресивної дії кислот або хімічно активного середовища свердловини. Типовими сполуками є четвертинні амонієві солі та фосфонати, які ефективно гальмують процеси корозії навіть за високих температур. Реагенти для флокуляції та коагуляції використовуються в процесі очищення відпрацьованого розчину після його підйому з свердловини, зокрема у гідроциклонних установках, де вони сприяють видаленню домішок і підготовці розчину до повторного використання. Для зниження тертя між трубою і стінками обсадної колони, особливо при роботі в горизонтальних свердловинах, застосовують спеціальні змазувальні та антифрикційні добавки, які забезпечують легке проходження труби по всій довжині стовбура.

Вимоги до якості реагентів та робочого середовища дуже жорсткі. Всі матеріали, що використовуються в процесі, повинні характеризуватися стабільністю фізико-хімічних параметрів (рН, густина, в'язкість), екологічною безпекою та можливістю утилізації після використання. Важлива також їхня сумісність з матеріалами системи, зокрема трубопроводами, насосним обладнанням та контрольно-вимірювальними приладами. Усі технологічні рідини циркулюють через спеціальні ємності, насосні агрегати та систему трубопроводів, робота яких контролюється за допомогою датчиків рівня, тиску та витрати.

Автоматизована система керування (АСК) є невід'ємною частиною сучасної колтубінгової установки. Вона забезпечує точне та своєчасне регулювання параметрів подачі розчину та реагентів, оперативний контроль за станом обладнання і аварійну сигналізацію у разі відхилень від заданих режимів. Завдяки застосуванню програмованих логічних контролерів (ПЛК) і сучасних

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

сенсорних технологій, система автоматично підтримує оптимальні умови проведення технологічного процесу, враховуючи поточні показники та оперативно реагуючи на зміни у свердловині.

Таким чином, ефективність роботи колтюрінгової установки значною мірою залежить від правильного вибору сировини, реагентів та відповідності їх застосування заданим технологічним вимогам, а також від рівня автоматизації виробничих процесів.

1.3 Аналіз технологічної схеми установки

Технологічна схема є ключовим елементом опису роботи колтюрінгової установки, оскільки вона наочно відображає взаємозв'язок між основними компонентами системи, напрямки руху робочих середовищ, а також точки контролю та впливу автоматизованої системи керування. Аналіз такої схеми дозволяє визначити послідовність процесів та логіку їх взаємодії, що є критично важливим для побудови ефективної системи автоматизації.

Узагальнена технологічна схема колтюрінгової установки включає наступні основні компоненти:

- Кріогенний насос високого тиску — забезпечує подачу робочого середовища (азот, робоча рідина) до технологічного циклу з необхідними параметрами тиску;
- Інжекторна система — виконує введення гнучкої труби у свердловину. Вона оснащена системою натягу, яка дозволяє точно дозувати швидкість та глибину подачі труби;
- Технологічні ємності — призначені для зберігання бурового або кислотного розчину, що подається у свердловину. Установка містить ємність технічного розчину та гідравлічну ємність для обслуговування приводів;
- Насосна група (Н-1, Н-2, Н-3) — відповідає за циркуляцію рідини між основними етапами процесу. Кожен насос має окремий привід, що

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

керується через частотний перетворювач;

- Теплообмінники — використовуються для стабілізації температури робочої рідини, особливо при роботі з криогенними або гарячими середовищами;
- Гідроциклонна установка — виконує функцію очищення зворотного потоку рідини від домішок, абразивних частинок і піску;
- Система трубопроводів високого та низького тиску — з'єднує всі функціональні вузли в єдину циркуляційну систему;
- Кабіна оператора — забезпечує дистанційне керування усіма елементами технологічного процесу.

Загальна логіка роботи установки передбачає наступну послідовність:

1. Підготовка розчину у відповідній ємності;
2. Подача його насосною системою в напрямку свердловини;
3. Введення труби в стовбур за допомогою інжектора;
4. Виконання операції (промивка, буріння, обробка);
5. Зворотній відбір відпрацьованого середовища;
6. Очищення у гідроциклоні;
7. Повторне використання або утилізація.

На схемі також зображено контрольні точки, де встановлено датчики тиску, рівня та температури. Ці сигнали подаються до ПЛК, що забезпечує реалізацію ПІД-регулювання (рівня, тиску), а також реалізує захисти та аварійні режими (наприклад, при перевищенні рівня — вимикається насос, закривається клапан).

1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання

Комплекс колтюбінгової установки складається з низки спеціалізованих елементів, технічні характеристики яких визначають її функціональні можливості, гнучкість експлуатації та безпеку роботи. Нижче подано докладніший опис основних вузлів і систем.

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Насосне обладнання.

Встановлено три гідравлічні насоси високого тиску (Н-1, Н-2, Н-3), кожен із яких має власний електропривід потужністю до 5 кВт. Це дозволяє забезпечувати стабільну роботу установки навіть у разі виходу з ладу одного з агрегатів, а також гнучко розподіляти навантаження залежно від технологічної задачі. Насоси здатні створювати тиск до 10 бар, що достатньо для виконання більшості операцій у свердловині — від промивки до закачування реагентів. Керування насосами здійснюється через частотний перетворювач Sinamics G120 (Siemens), який дозволяє плавно змінювати частоту обертів у межах 0–50 Гц. Це забезпечує точне дозування подачі робочої рідини й ефективне енергозбереження. Частотний перетворювач підтримує ПІД-регулювання, завдяки чому система здатна автоматично підтримувати задані параметри тиску або витрати незалежно від змін у навантаженні. Керуючий сигнал аналогового типу (4–20 мА) надходить безпосередньо з ПЛК.

Система датчиків.

Для контролю основних параметрів технологічного процесу застосовується сучасна система датчиків:

- Датчики тиску Siemens Sitrans P500 встановлюються на вході і виході кожного насоса. Вони мають діапазон вимірювання 0–10 бар, точність $\pm 0,5\%$, клас захисту IP65 (що гарантує надійність у складних виробничих умовах) та вихідний сигнал 4–20 мА, який стандартизований для промислової автоматики;

- Ультразвуковий датчик рівня Sitrans Probe LU забезпечує безконтактний моніторинг рівня рідини у технологічних резервуарах на висоті до 10 м, що дозволяє уникати помилок, пов'язаних із залипанням чи агресивністю середовища;

- Поплавкові датчики рівня (S5, S6) встановлюють аварійні межі (верхній і нижній рівні) у резервуарах. Їхній простий і надійний принцип дії гарантує спрацювання навіть при відмові інших пристроїв.

Усі сигнальні лінії від датчиків підключаються через бар'єри іскрозахисту

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

MLT 5044. Це додатково підвищує безпеку експлуатації в умовах можливого виділення вибухонебезпечних газів. Всі дроти мають чітке маркування (w01, w02 тощо) і підключаються до клемників (X1, X5, X6), що полегшує обслуговування й діагностику.

Виконавчі механізми та система керування.

Регулювання потоків рідини в системі здійснюється за допомогою поворотного затвора Kvant із електроприводом QT04-0.9 (Dendor). Цей пристрій отримує аналоговий сигнал 4–20 мА від ПЛК, що дає змогу точно регулювати положення клапана залежно від технологічних потреб. Зворотний зв'язок по положенню дозволяє операторам та автоматичній системі керування контролювати стан затвора в реальному часі. Час повного відкриття або закриття затвора становить до 3 секунд, що дозволяє швидко реагувати на зміну умов процесу.

Ядром автоматизації є програмований логічний контролер Siemens S7-300. ПЛК має модульну структуру, що дозволяє масштабувати систему залежно від складності об'єкта. Контролер підтримує основні промислові інтерфейси (Profibus-DP, MPI, Ethernet), що забезпечує сумісність із зовнішніми пристроями та системами диспетчеризації. ПЛК має достатню кількість аналогових (8 каналів 4–20 мА на вхід, 4 на вихід) і дискретних входів/виходів (до 32), що дозволяє підключати всі необхідні датчики, виконавчі механізми та сигналізацію. Програмування здійснюється мовою STEP 7 (STL, LAD, FBD), що полегшує інтеграцію нових алгоритмів керування.

Візуалізація та ручне/автоматичне керування реалізується через сенсорну панель оператора TP177 (Siemens). Панель дозволяє в реальному часі відображати поточні параметри роботи, подавати команди, здійснювати налаштування та аварійне відключення обладнання.

Система електропостачання.

Живлення установки здійснюється від трифазної мережі 380 В і має багаторівневий захист: встановлено автоматичні вимикачі на 6А і 3А, аварійний

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

вимикач типу “гриб” для термінового знеструмлення, а також блок безперебійного живлення (на 24 В DC), який гарантує роботу ланцюгів керування навіть у разі зникнення основної напруги.

Кабелі.

Усі кабелі мають маркування та підключені через відповідні клемники з урахуванням вимог електробезпеки. Передача аналогових сигналів (4–20 мА) здійснюється через бар’єри іскрозахисту, що забезпечує надійність і захист електроніки в агресивних чи вибухонебезпечних середовищах.

Докладна технічна характеристика кожного елемента комплексу дозволяє не лише ефективно й безпечно експлуатувати установку, але й легко масштабувати або модернізувати її під потреби конкретного виробництва.

1.5 Вибір та обґрунтування параметрів контролю і регулювання

Автоматизація колтюбінгової установки передбачає контроль низки технологічних параметрів, від яких залежить як якість виконання операцій, так і безпека функціонування обладнання. Вибір параметрів для контролю та регулювання здійснюється на основі аналізу технологічної схеми, режимів роботи системи, а також вимог до стабільності процесу.

Основні параметри, що підлягають автоматичному контролю:

1. Рівень бурового розчину в циркуляційній ємності (зумпфі)
 - Тип сигналу: аналоговий, 4–20 мА;
 - Діапазон: 0–10 м;
 - Контроль здійснюється ультразвуковим датчиком рівня Sitrans Probe LU (Siemens), підключеним через бар’єр іскрозахисту MLT 5044;
 - Значення рівня використовується як вхідна змінна в контурі ПІД-регулювання швидкості обертання насоса;
 - Цей параметр є ключовим для уникнення "сухого ходу" або переповнення ємності.
2. Тиск на вході в систему розділення рідини

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Тип сигналу: 4–20 мА;
- Вимірюється тисковим датчиком Siemens Sitrans P500, встановленим перед гідроциклоном;
- Застосовується як вхід до іншого ПІД-регулятора, що впливає на положення електроприводу поворотної заслінки.

3. Тиск на виході насоса

- Контролюється з метою захисту обладнання від перевантажень;
- Використовується для аварійного відключення насоса або запуску сигналізації.

4. Положення клапана подачі технологічної рідини

- Регульований виконавчий механізм;
- Отримує сигнал від ПЛК через аналоговий вихід (4–20 мА);
- Зворотній зв'язок також реалізується через дискретні або аналогові сигнали.

5. Частота обертання насосного агрегата

- Регулюється через частотний перетворювач Sinamics G120;
- Значення визначається ПІД-регулятором, який обчислює відхилення рівня від уставки.

Обґрунтування вибору.

Контроль рівня бурового розчину в технологічній ємності є критично важливим, оскільки зміна рівня без компенсації призводить до порушення тиску, втрати гідравлічного контакту в зоні буріння та зростання аварійності.

Вибір тиску як регульованого параметра пов'язаний із необхідністю підтримки стабільного режиму подачі розчину в гідроциклони. Регулювання здійснюється за допомогою частотного перетворювача, що дозволяє мінімізувати енергоспоживання та коливання тиску.

Застосування ПІД-регуляторів з аналоговим зворотним зв'язком забезпечує:

- плавне регулювання виконавчих механізмів;

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- стабілізацію параметрів при змінних навантаженнях;
- можливість ручного та автоматичного перемикання режимів.

Межі контролю та аварійні уставки.

Для кожного критичного параметра передбачено дві аварійні межі:

- верхня (наприклад, рівень більше 90% або тиск більше 10 бар) — ініціює зупинку насоса, закриття клапана, активацію сигналізації;
- нижня (наприклад, рівень менше 10%) — блокує роботу насоса для уникнення "сухого ходу".

Контроль аварійних рівнів реалізується окремими поплавковими датчиками (S5, S6), які подають дискретний сигнал на вхід ПЛК. При спрацюванні запускається аварійна сигналізація

Висновки до розділу

У результаті аналізу технологічного процесу буріння із застосуванням колтубінгової установки було виявлено критичну важливість точного регулювання рівня бурового розчину в циркуляційній ємності. Описано особливості функціонування обладнання, параметри та їхній вплив на стабільність процесу. Це дозволило обґрунтовано визначити перелік контрольованих величин та сформулювати вимоги до системи автоматизації.

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1 Обґрунтування вибору об'єкта автоматизації

Автоматизована система керування (АСК), розроблена для колтюбінгової установки, має на меті забезпечення безперервного, стабільного та безпечного виконання технологічних операцій, зокрема буріння, прочистки стовбура свердловини, кислотної обробки та закачування реагентів. Однією з найважливіших умов функціонування системи є стабільне підтримання рівня технологічного розчину в циркуляційній ємності (зумпфі). Саме цей параметр обрано як об'єкт автоматичного регулювання.

Зумпф виконує функцію буфера між процесами подачі та відведення рідини в системі. У ході бурових робіт або обробки привибійної зони свердловини буровий чи інший технологічний розчин (наприклад, солянокислотний, полімерний, азотний або азотно-пінний) подається в зону обробки під тиском, після чого повертається у зумпф, де накопичується перед повторною подачею або очищенням. Нестабільність рівня розчину в зумпфі може спричинити:

- роботу насосів у режимі "сухого ходу" — при критичному зниженні рівня;
- переповнення та витікання розчину — при перевищенні допустимого рівня;
- дестабілізацію подачі у зону обробки;
- аварійне зупинення установки внаслідок порушення умов безпеки.

Таким чином, рівень рідини у зумпфі є не просто контрольним параметром, а одним із базових регульованих параметрів усієї автоматизованої системи керування.

На технологічній схемі (див. рис. 1.2) зумпф позначений як ємність, у якій накопичується технологічна рідина. Її заповнення забезпечується через регульований клапан, а відкачка — насосом з частотним перетворювачем. Сигнал рівня використовується як зворотній зв'язок для алгоритму ПІД-

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

регулювання у програмованому контролері.

- Керована змінна: рівень рідини у зумпфі, [м]
- Керуючий вплив: частота обертання насоса (через частотний перетворювач), [Гц]
- Вимірюваний параметр: аналоговий сигнал датчика рівня (4–20 мА)

Ураховуючи динаміку процесу, можна охарактеризувати зумпф як інтегруючий об'єкт: при фіксованому вході (постійному притоку рідини) рівень у ємності зростає, доки не буде відновлено баланс.

Вибір об'єкта моделювання.

Для математичного опису процесу стабілізації рівня рідини доцільно виділити наступні об'єкти моделювання:

1. Зумпф (ємність) — описується інтегруючою ланкою з коефіцієнтом $КЕК_ЕКЕ$;
2. Регульований клапан — аперіодична ланка першого порядку;
3. Насосний агрегат — регульований частотним перетворювачем, що формує окремий контур відкачки.

Оскільки відкачка рідини зумпфа також впливає на рівень, уся система набуває двоконтурної структури: один контур — стабілізація рівня, другий — стабілізація витрати на виході.

Таблиця 2.1 – Резюме вибору

Параметр	Характеристика
Об'єкт регулювання	Рівень рідини в зумпфі
Змінна, що керується	Швидкість обертання насоса (Гц)
Засіб вимірювання	УЗ датчик Sitrans LU (4–20 мА)
Виконавчий механізм	Частотний перетворювач Sinamics G120
Характер процесу	Інтегруючий об'єкт
Критерії якості	Безпечний режим, відсутність перерегулювання, швидкість реакції, стабільність

Вибір зумпфа як об'єкта автоматизації обумовлений його центральною роллю в гідравлічній системі колтюрінгової установки, прямим впливом на роботу насоса, стабільність подачі реагентів і загальну ефективність обслуговування свердловини.

2.2 Визначення характеристик об'єкта автоматизації

Для виконання математичного моделювання системи автоматичного регулювання рівня рідини в технологічній ємності (зумпфі) колтюрінгової установки необхідно визначити динамічні характеристики елементів, що формують об'єкт керування. Згідно з технологічною схемою, рівень рідини в ємності змінюється під впливом:

- витрати вхідного потоку через регульований клапан;
- витрати відкачування за допомогою насосного агрегату.

Для опису поведінки рівня рідини в зумпфі при незмінній площі поперечного перерізу ємності використовується інтегруюча передавальна функція:

$$W_1(s) = \frac{K_E}{s} \quad (2.1)$$

де:

- $W_1(s)$ — передавальна функція зумпфа;
- $K_E = 10$ — коефіцієнт підсилення (визначено з моделювання у Simulink).

Вплив регулюючого клапана описується аперіодичним ланцюгом першого порядку:

$$W_2(s) = \frac{0,00001259}{10s+1} \quad (2.2)$$

де:

- $W_2(s)$ — динаміка регулюючого клапана;
- 10 — стала часу.

На основі цих передавальних функцій сформовано структурну схему замкнутої системи з ПД-регулятором, наведено на рис. 2.1.

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

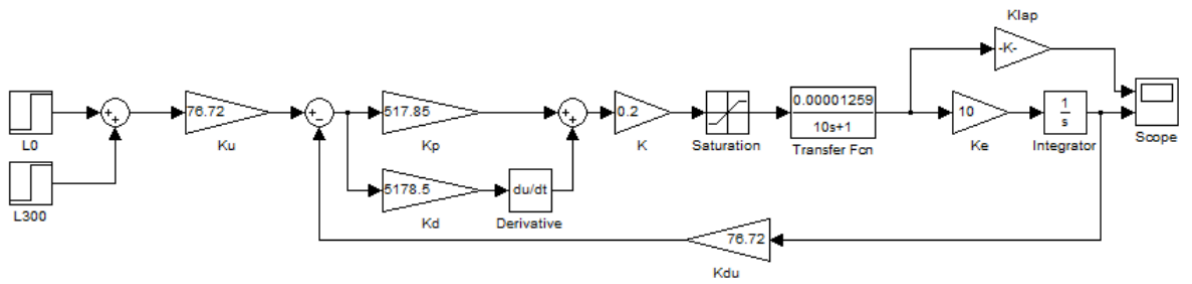


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи стабілізації рівня з ПД-регулятором

Для налаштування регулятора використано метод аперіодичного оптимуму, що дозволяє уникнути перерегулювання та забезпечити високу точність. У результаті було отримано значення коефіцієнтів ПД-регулятора, які дозволили досягти швидкої реакції на зміни уставки та збурення.

Графік переходу системи при зміні уставки рівня з 0,5 м до 1,0 м подано на рис. 2.2.

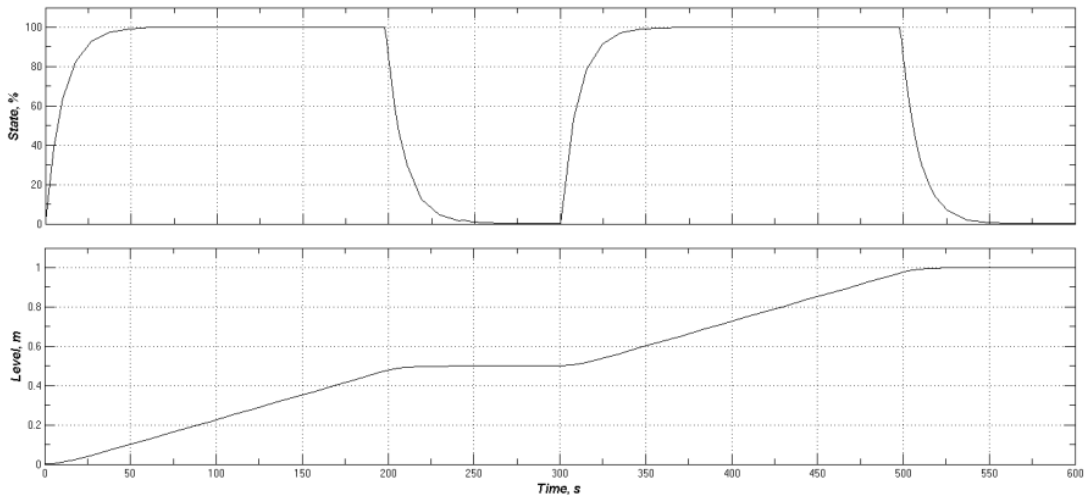


Рисунок 2.2 – Переходові процеси в системі регулювання рівня (0,5 → 1,0 м)

Із рисунка видно, що система має сталу реакцію з відсутністю коливань. Перехід на рівень 0,5 м відбувається за ≈ 215 с, подальше підняття до 1,0 м — за ≈ 225 с. Положення клапана змінюється відповідно до алгоритму керування без перевищень.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Видно, що система відпрацює завдання за 6 с, із незначним перерегулюванням, що є допустимим.

Об'єднана двоконтурна модель.

Для досягнення максимальної точності реалізовано двоконтурну систему, де контур витрати є збуренням для контуру рівня. Схема подана на рис. 2.5.

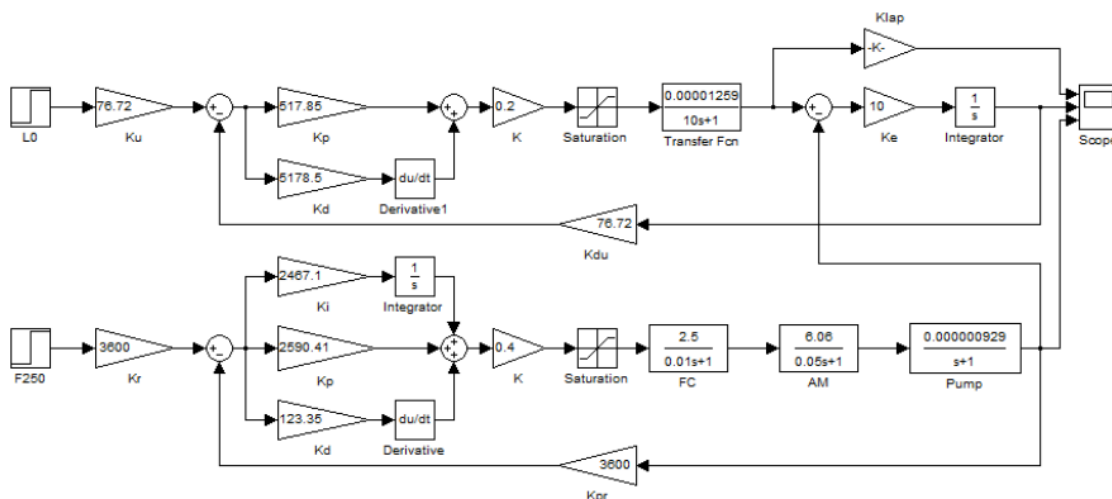


Рисунок 2.5 – Двоконтурна система стабілізації рівня та витрати

Графік реакції об'єднаної системи подано на рис. 2.6: при досягненні рівня 0,4 м відбувається запуск насоса, що створює зниження рівня, після чого клапан компенсує витрату — рівень стабілізується за 50 с.

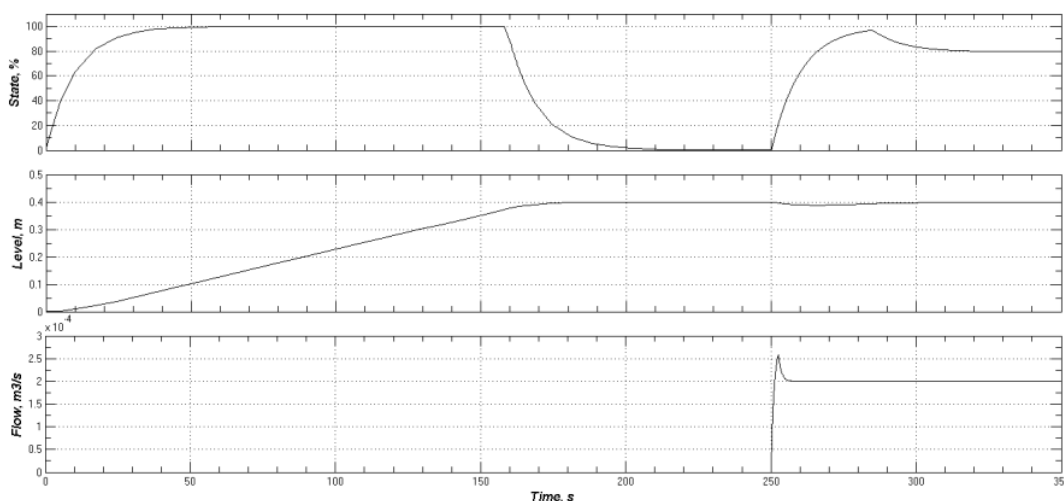


Рисунок 2.6 – Моделювання роботи двоконтурної системи в зумпфі

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Висновки до розділу

На основі аналізу об'єкта керування виконано його математичне моделювання в середовищі MATLAB/Simulink. Побудовано адекватні передавальні функції для системи регулювання рівня та тиску, що дозволило закласти основу для подальшого синтезу алгоритмів керування. Ідентифікація параметрів підтвердила відповідність моделі реальній динаміці об'єкта.

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

3. СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

У складі автоматизованої системи керування колтбінговою установкою використовується комплекс технічних засобів (КТЗ), який включає:

- засоби вимірювання;
- виконавчі пристрої;
- контролерне обладнання;
- комутаційну апаратуру;
- систему сигналізації та допоміжні технічні елементи.

Засоби вимірювання забезпечують безперервний збір актуальної інформації про стан технологічного процесу, зокрема контроль рівня, тиску, витрати та аварійних станів. Виконавчі механізми реалізують керуючі дії, перетворюючи електричні сигнали в механічні або інші фізичні величини відповідно до заданого алгоритму регулювання (наприклад, частотне регулювання обертів насоса або позиціонування клапана).

Контролерне обладнання виконує центральну роль у функціонуванні системи автоматизації: обробляє сигнали, що надходять від вимірювальних пристроїв, реалізує алгоритми керування, виконує обчислення, формує керуючі впливи та передає їх на виконавчі елементи відповідно до заданої логіки функціонування.

3.1 Синтез одноконтурної системи автоматичного керування

Система автоматичного керування рівнем у циркуляційній ємності колтбінгової установки передбачає реалізацію одноконтурної САК із використанням програмованого логічного контролера (ПЛК), частотного перетворювача, датчиків рівня та виконавчих механізмів. Основна мета — підтримання рівня технологічного розчину в межах допустимих значень з метою уникнення аварійного режиму «сухого ходу».

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Принцип дії одноконтурної САК.

Рівень рідини в ємності вимірюється ультразвуковим датчиком, сигнал з якого надходить на аналоговий вхід ПЛК. Після обробки сигналу ПІД-регулятором формується керуюча дія, яка змінює частоту обертів насоса. Це дозволяє або збільшити, або зменшити витрату відкачки з ємності, що стабілізує рівень.

Сигналізація критичних рівнів (мінімального та максимального) реалізована на дискретному рівні з використанням поплавкових або ємнісних датчиків, які подають сигнал аварії на ПЛК і можуть зупинити насос або перекрити клапан.

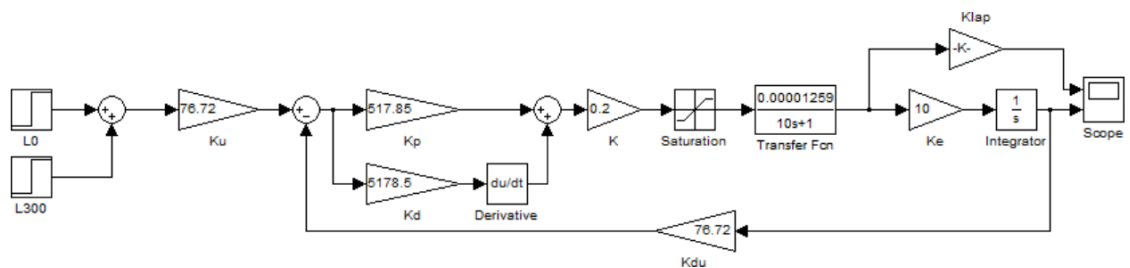


Рисунок 3.1 – Структурна схема одноконтурної САК стабілізації рівня в зумпфі

3.2 Синтез ефективних систем автоматичного керування

У попередньому підрозділі було описано одноконтурну систему автоматичного регулювання рівня у зумпфі. Проте для підвищення точності, швидкодії та адаптивності функціонування системи колтубінгової установки доцільним є впровадження двоконтурної системи автоматичного керування, у якій другий контур регулює витрату відкачування розчину.

Мотивація розширення системи.

Одноконтурна САК реагує лише на зміни рівня. Але при раптовому збільшенні витрати (наприклад, через зміну продуктивності насосів або перемикання потоку на іншу лінію) система реагуватиме з затримкою, що спричиняє відхилення рівня від уставки.

Для компенсації цього збурення доцільно впровадити внутрішній контур

регулювання витрати, який:

- стабілізує витрату незалежно від впливу на рівень;
- зменшує навантаження на основний регулятор рівня;
- підвищує стійкість і точність всієї системи.

Принцип дії двоконтурної САК.

У двоконтурній системі:

- зовнішній контур регулює рівень у зумпфі (основний керований параметр);
- внутрішній контур регулює витрату розчину через частотне керування насосом (виконавчий орган).

Контур витрати виконує функцію попередньої компенсації збурення — забезпечує постійну витрату на виході незалежно від зміни рівня, температури чи тиску, що дозволяє контурові рівня працювати з меншою інерційністю та вужчим діапазоном регулювання.

Математична модель і структурна схема.

У розділі 2.2 було подано передавальні функції для кожного елемента:

- частотний перетворювач — $W_{ПЧ}(s) = \frac{2.5}{0.01s^2+s+1}$;
- електродвигун — $W_{ЕД}(s) = \frac{6.06}{0.05s^2+s+1}$;
- насос — $W_{Н}(s) = \frac{9.29 \times 10^{-7}}{s^2+s+1}$.

На їх основі сформовано замкнену систему з ПІД-регулятором, налаштовану на технічний оптимум. Контур забезпечує стабільну витрату незалежно від навантаження.

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

обмежене навантаження на виконавчі механізми (зменшення частоти перемикачів клапана/насоса).

Аналіз контурного регулювання витрати.

Другим етапом було моделювання окремого внутрішнього контуру стабілізації витрати. Система працює із ПІД-регулятором, що керує частотою обертання насоса на основі сигналу з витратоміра. Результати подано на рисунку 3.4.

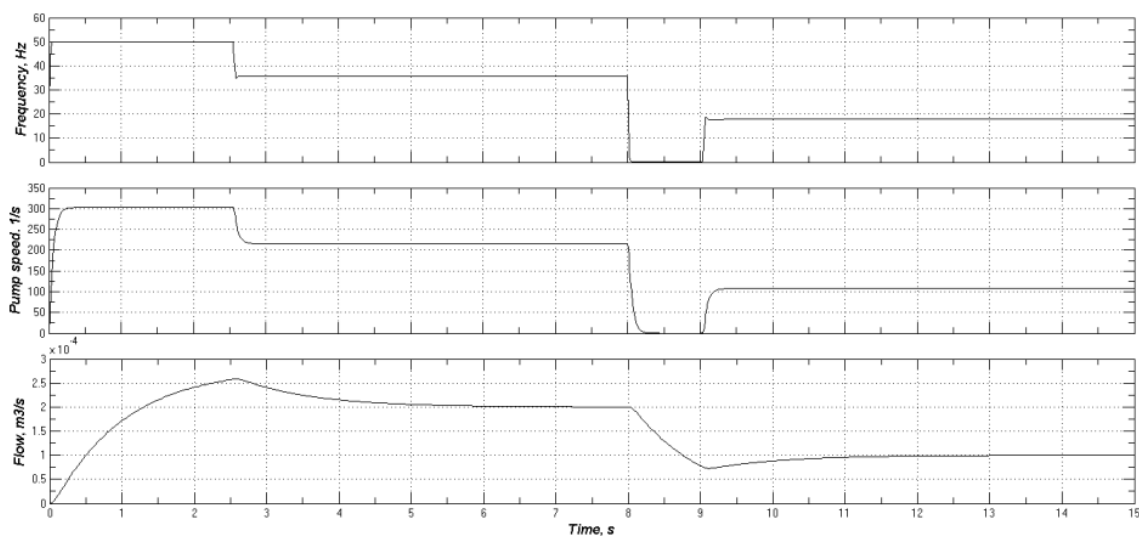


Рисунок 3.4 – Перехідні процеси в контурі стабілізації витрати ($0,0002 \rightarrow 0,0001 \text{ м}^3/\text{с}$)

Особливості реакції:

- час виходу на уставку — <6 секунд;
- система має незначне перерегулювання (типове для ПІД-регулятора на технічний оптимум);
- після зниження уставки на 8-й секунді система знову виходить на нове значення витрати < 4 секунд.

Перевагою такого контуру є висока швидкодія, яка дозволяє оперативно реагувати на зміну уставки або гідравлічних умов у системі, при цьому точність стабілізації витрати залишається високою.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Аналіз двоконтурної системи (рівень + витрата).

Остаточний варіант моделі включає об'єднання обох контурів у єдину систему, де контур витрати працює як збурення для контуру рівня. У моделюванні (рисунок 3.5) зумпф спочатку заповнюється при вимкненому насосі, а на 250-й секунді починається активна відкачка, що викликає спад рівня — система повинна компенсувати цей вплив відкриттям клапана.

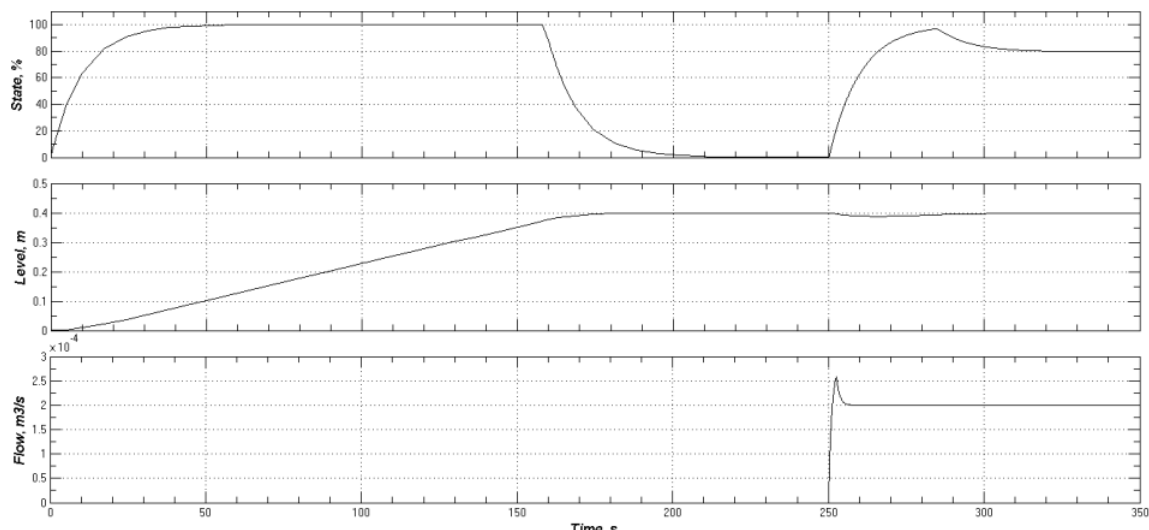


Рисунок 3.5 – Графік переходу двоконтурної САК із збуренням витратою

Спостереження:

- система швидко реагує на включення насоса;
- рівень починає спадати, але відкриття клапана стабілізує ситуацію менше ніж за 50 секунд;
- немає значного перерегулювання або коливань.

Таким чином, зовнішній контур рівня успішно компенсує збурення, що виникло у внутрішньому контурі витрати, підтверджуючи ефективність двоконтурної реалізації.

Дослідження системи на стійкість.

Розімкнена система описується передаточною функцією:

$$L(s) = C(s) \cdot W(s) \quad (3.1)$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для оцінки стійкості побудовано графіки:

- Кореневий локус (Root locus) – дає змогу оцінити розташування коренів при зміні коефіцієнтів.

На рисунку 3.6 представлено кореневий локус системи, який дозволяє оцінити розміщення коренів характеристичного рівняння при зміні коефіцієнта підсилення. Це особливо важливо для аналізу стійкості, оскільки корені рівняння визначають поведінку перехідного процесу. Якщо всі корені розташовані в лівій півплощині комплексної площини (тобто мають від'ємну дійсну частину), то система є стійкою. На зображенні видно, що при зміні коефіцієнтів корені рухаються в межах лівої півплощини, що свідчить про наявність стійкості системи для обраного діапазону параметрів.

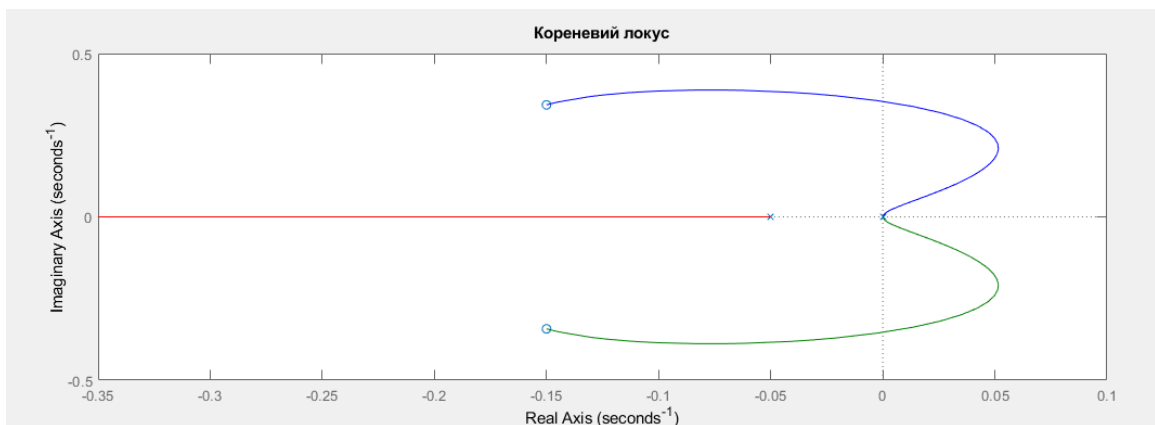


Рисунок 3.6 – Кореневий локус системи

- Амплітудно-фазова характеристика (Bode) – демонструє фазовий запас понад 45° та амплітудний запас більше 10 дБ.

На рисунку 3.7 зображено амплітудно-фазову характеристику (Bode-графік), яка демонструє частотні властивості системи. Вона дозволяє визначити фазовий і амплітудний запаси стійкості. У представленому графіку видно, що фазовий запас перевищує 45 градусів, а амплітудний запас є більшим за 10 дБ. Такі значення вказують на хорошу резервність системи фазових зсувів та змін підсилення, що свідчить про достатню стійкість навіть при наявності певних збурень або неточностей у моделі.

Висновки до розділу

Синтезовано як одноконтурну, так і ефективніші структури автоматичного керування із використанням ПД-регуляторів. Виконано дослідження перехідних процесів, перевірено стійкість системи та якість регулювання. Результати показали, що двоконтурне керування з урахуванням збурень дає змогу забезпечити стабільність рівня бурового розчину навіть за складних умов роботи.

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

4. РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ СКЛАДОВОЇ САК

4.1 Вибір технічних засобів автоматизації

Проектування системи автоматичного керування колтубінговою установкою передбачає ретельний підбір технічних засобів, які забезпечують контроль, регулювання, сигналізацію, а також візуалізацію параметрів технологічного процесу. До складу автоматизованої системи входять: засоби вимірювання, контролер, виконавчі пристрої, комутаційне обладнання, панель оператора та частотний перетворювач.

Контролер.

Центральною частиною системи є програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-300. Його вибір обумовлений такими технічними перевагами:

- модульна архітектура та гнучка конфігурація;
- підтримка стандартів IEC 61131-3 (STL, LAD, FBD);
- наявність аналогових і дискретних входів/виходів;
- сумісність з SCADA-системою WinCC Flexible;
- підтримка промислових протоколів MPI, Profibus, Ethernet, Modbus RTU.

Контролер здійснює обробку сигналів від датчиків, виконує алгоритми ПІД-регулювання та формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів (насосів, клапанів).

Засоби вимірювання.

У якості засобів вимірювання параметрів використовуються:

- ультразвуковий датчик рівня Siemens Sitrans Probe LU — для безконтактного вимірювання рівня рідини в зумпфі. Сигнал 4–20 мА подається на аналоговий вхід ПЛК;
- сигналізатор рівня Siemens Pointek CLS200 — забезпечує спрацьовування при досягненні мінімального або максимального рівня, замикаючи дискретні входи;

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

- датчик тиску Siemens Sitrans P500 — використовується для контролю тиску на вході в систему гідроциклонів;
- вбудовані датчики струму частотного перетворювача — контролюють навантаження на насос.

Виконавчі механізми.

Основні елементи, що здійснюють регулюючий вплив на технологічний процес:

- затвор поворотний Kvant із електроприводом QT04-0.9 (Dendor) — регулює подачу технологічної рідини в зумпф;
- насосний агрегат 450HTU-NZJA-MR (Jiangxi Naipu) — здійснює відкачку бурового розчину зі зумпфа;
- частотний перетворювач Siemens Sinamics G120 — забезпечує плавне регулювання обертів насоса в діапазоні 0–50 Гц, має вбудований ПІД-регулятор, інтерфейси RS-485 та підтримку Modbus RTU.

Подача керуючого сигналу (4–20 мА) на частотник здійснюється з аналогового виходу ПЛК.

Панель оператора.

Для забезпечення взаємодії оператора з системою застосовується сенсорна панель Siemens TP177, що працює під керуванням SCADA-пакета WinCC Flexible. Через неї оператор має можливість:

- переглядати поточні значення параметрів (рівень, тиск, витрата);
- задавати уставки рівня, тиску, частоти;
- перемикати режими роботи (ручний/автоматичний);
- отримувати повідомлення про помилки, спрацювання аварійних датчиків;
- налаштовувати параметри ПІД-регуляторів у режимі реального часу.

Інтерфейс передбачає окремі екрани для ручного управління, аварійної діагностики, перегляду трендів та введення параметрів.

Комунікація та живлення.

Уся система побудована за принципом локальної мережі з використанням

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

протоколу MPI або Profibus DP, що дозволяє швидкий обмін даними між ПЛК, частотником і панеллю оператора. Живлення елементів здійснюється від стабілізованого джерела 24 В для логіки та 380 В для силової частини.

4.2 Розробка функціональної схеми автоматизації

Функціональна схема автоматизації є ключовим елементом при побудові автоматизованої системи керування (АСК), оскільки вона визначає загальну структуру контролю і регулювання технологічного процесу, взаємозв'язки між вимірювальними приладами, виконавчими механізмами, контролерами та засобами сигналізації.

На основі аналізу технологічного процесу буріння із застосуванням колтубінгової установки та відповідних вимог до автоматизації, було розроблено функціональну схему, наведено на рис. 4.1

Схема охоплює такі підсистеми:

- Вимірювання рівня технологічного розчину в циркуляційній ємності за допомогою ультразвукового датчика рівня Sitrans Probe LU з аналоговим виходом 4–20 мА;
- Контроль тиску на вході та виході насосного агрегату за допомогою двох датчиків тиску 0–10 бар, також з виходом 4–20 мА;
- Два аварійних сигналізатори рівня (верхній і нижній) на поплавковій основі, що підключаються до дискретних входів ПЛК;
- Управління насосом через частотний перетворювач Sinamics G120, який приймає аналоговий сигнал керування (4–20 мА) з контролера;
- Клапан подачі води/розчину, оснащений електроприводом з позиціонером, який також керується аналоговим сигналом 4–20 мА.

Передача аналогових сигналів здійснюється через бар'єри іскробезпеки MTL 5044, відповідно до вимог вибухозахищеного виконання системи.

Програмно-логічний контролер Siemens S7-300 приймає сигнали від сенсорів, формує управляючі впливи на виконавчі механізми та здійснює логічне

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

реагування на аварійні стани. Алгоритм керування реалізується через ПД-регулювання рівня та тиску, що забезпечує стабільну роботу процесу.

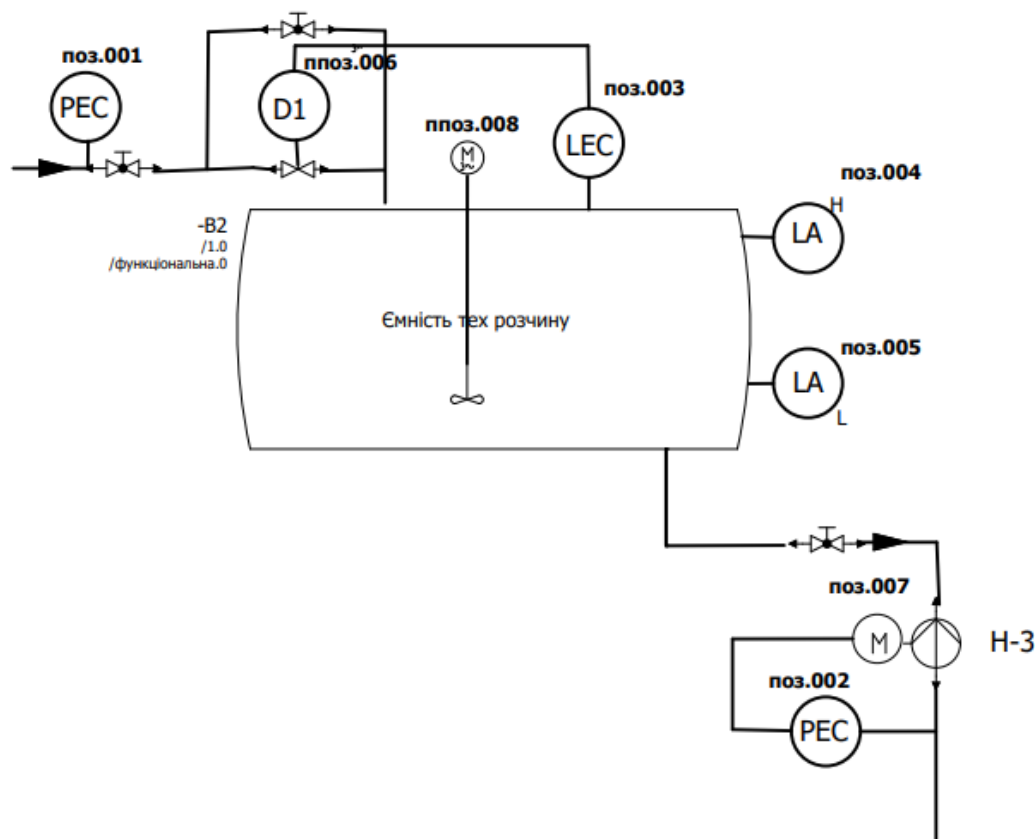


Рисунок 4.1 – Функціональна схема автоматизації процесу стабілізації рівня та тиску в колтюбінговій установці

4.3 Розробка додаткових проєктних рішень

Для повноцінної реалізації системи автоматизації колтюбінгової установки, крім функціональної схеми, необхідно розробити комплект додаткових проєктних рішень. Вони включають:

- електричні принципи схеми підключення приладів;
- схеми розташування елементів у шафі керування;
- схему аварійної сигналізації;
- специфікацію кабельних з'єднань і засобів захисту.

Електрична принципова схема.

На рисунку 4.2 зображено електричну схему підключення живлення,

						БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			43

датчиків та виконавчих механізмів до контролера Siemens S7-300. У схемі присутні:

- аналогові входи для підключення датчика рівня та тиску (4–20 мА);
- аналогові виходи для управління частотним перетворювачем;
- дискретні входи для аварійних сигналізаторів рівня;
- виходи для аварійної сигналізації (звукової/світлової);
- силові елементи: контактори, автоматичні вимикачі, реле захисту.

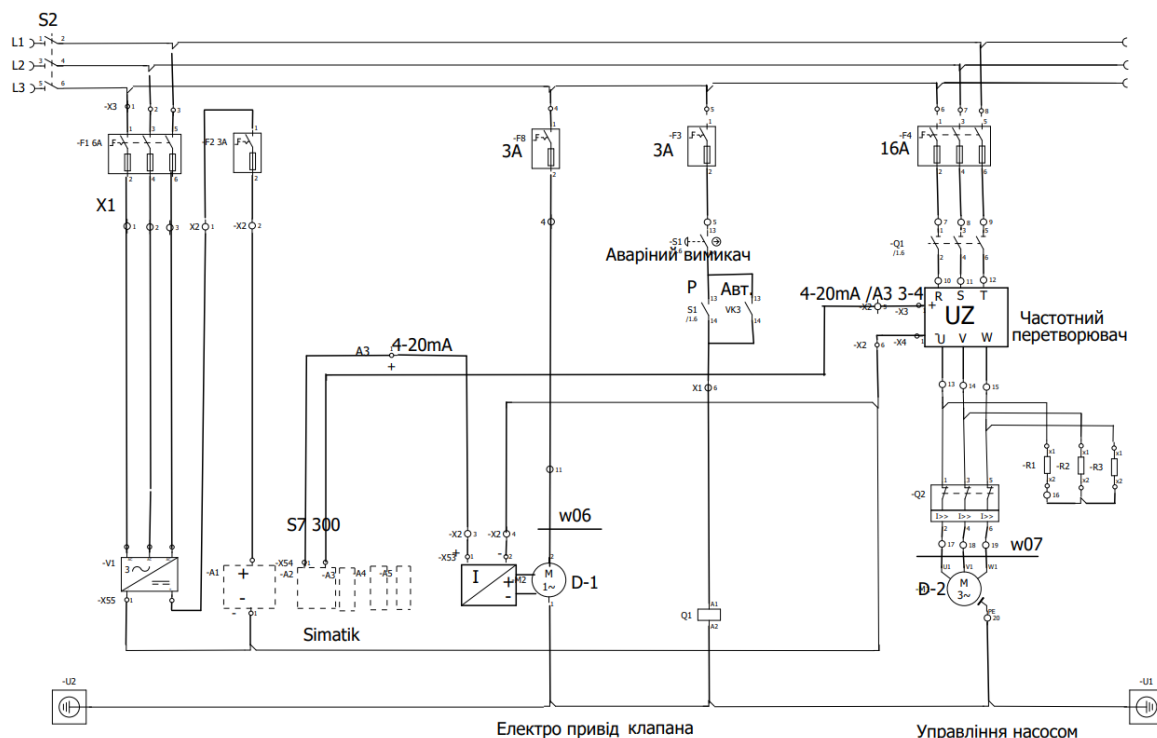


Рисунок 4.2 – Електрична принципова схема підключення системи автоматизації

Сигнали підключені через бар'єри іскрозахисту, що гарантує безпечну експлуатацію в умовах підвищеної небезпеки (волога, пил, вібрація).

Схема підключення приладів.

На основі документації документації колтубінгової установки побудовано схему, що показує фізичне з'єднання кожного елементу системи:

- датчик рівня → аналоговий вхід AI1 ПЛК;
- сигналізатор верхнього рівня → дискретний вхід DI3;

- частотний перетворювач → аналоговий вихід АО1 ПЛК;
- електропривід затвора → дискретні виходи DO1–DO2 (відкрити/закрити);
- панель оператора → МРІ-інтерфейс.

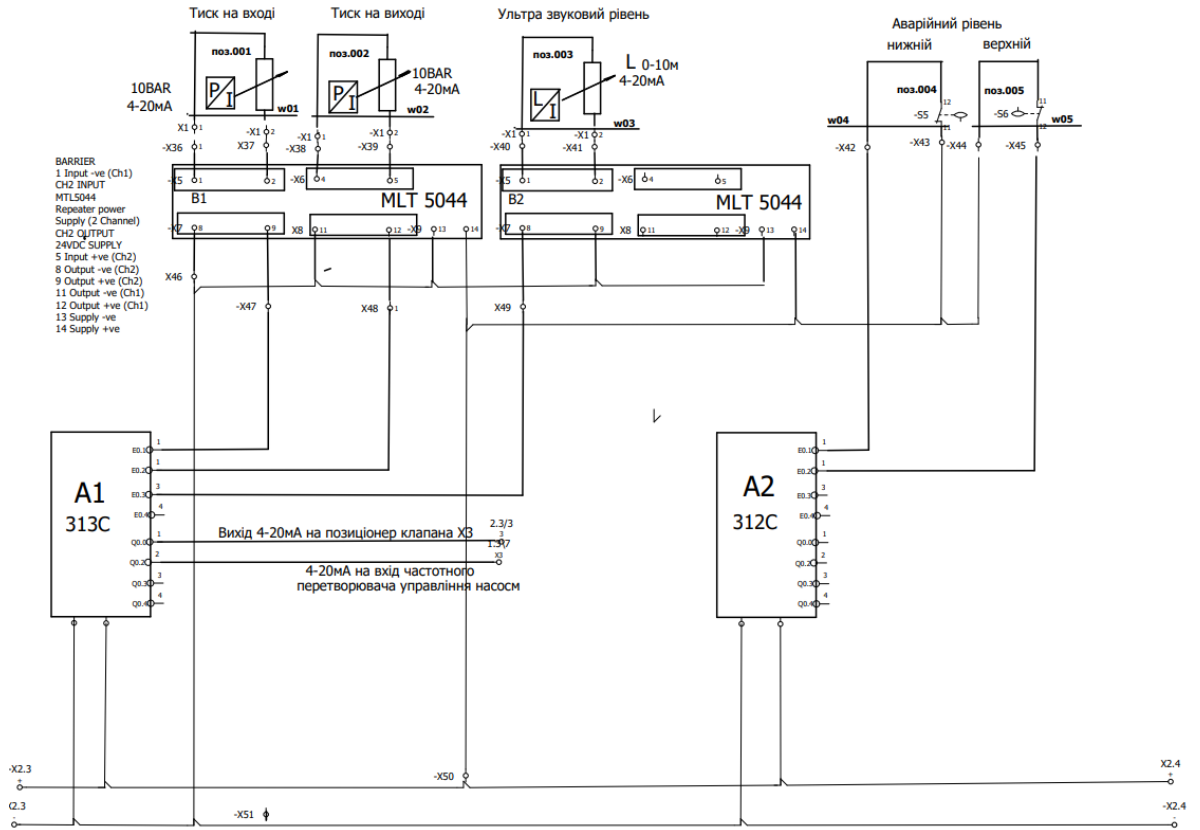


Рисунок 4.3 – Схема підключення приладів до ПЛК і частотника

У схемі вказано типи кабелів (екрановані, зручні для аналогових ліній), тип з'єднань (гвинтові/клемні), а також прив'язка до нумерації в шафі керування.

№	Позначення	Тип	Фірма виробник	Позиція
1	Блок живлення 380-12В	AVT320V55N4C	Schneider	V1
2	Авт. вимикач 6А	EZ9 6А	Schneider	F1
3	Авт. вимикач 3А	EZ9 6А	Schneider	F3
4	Авт. вимикач 3А	EZ9 6А	Schneider	F8
5	Авт. вимикач 16А	EZ9 6А	Schneider	F4
6	Магнітний пускач	LC1E2510	Schneider	Q1
7	Авар. вимикач	XB7NS8445	Schneider	S1
8	Частотний перетворювач	AVT320V55N4C	Schneider	UZ
9	Регулюючий клапан	AUMA SAEx07.6	SAMSON	M2
10	Гальмівний резистор	EBGUP800-150R	Schneider	R1/R2/R3
11	Ключ управління	M22-L-R216772	Schneider	VK3
12	Ручний перемикач 0-1	Vario VCF03U3	Schneider	S2
13	Контролер	SM322	Simatic	
14	Реле	RXM4AB1B7	Schneider	K1-K6
15	Лампа сигнальна	XB5AAVB3	Schneider	H1-H6
16				
17	Датчик тиску 0-10BAR 4-20мА	1149	GEM SENSOR	1
18	Датчик тиску 0-10BAR 4-20мА	1149	GEM SENSOR	2
19	Ультразвуковий датчик рівня	Simens Sitrans Probe LU	Simens	3
20	Поплавковий датчик рівня	WIKA RLS-1000	Emerson	4
21	Поплавковий датчик рівня	WIKA RLS-1000	Emerson	5
22	Взривозахисний бар'єр	MLT5044	MLT Instruments	B1
23	Взривозахисний бар'єр	MLT5044	MLT Instruments	B2
24	Кабель	КВВГЭнг(А)-LS 3×1.5	ТОВ .Одеськабель	W01
25	Кабель	КВВГЭнг(А)-LS 3×1.5	ТОВ .Одеськабель	W02
26	Кабель	КВВГЭнг(А)-LS 3×1.5	ТОВ .Одеськабель	W03
27	Кабель	КВВГЭнг(А)-LS 3×1.5	ТОВ .Одеськабель	W04
28	Кабель	КВВГЭнг(А)-LS 3×1.5	ТОВ .Одеськабель	W05
29	Кабель	КВВГЭнг(А)-LS 3×1.5	ТОВ .Одеськабель	W06
30	Кабель	КГЭнг(А)-FRLS 4×2.5	ТОВ .Одеськабель	W07

Рисунок 4.4 – Специфікація монтажу клемників підключення приладів

У таблиці вказано відповідність між датчиками, типами сигналів, клемми та кабельними з'єднаннями в шафі керування.

Схема сигналізації.

Схема сигналізації керує світловою і звуковою індикацією аварій через реле, які вмикає контролер при спрацюванні відповідного датчика або отриманні аварійного сигналу з обладнання. У разі аварії сигнал відразу доходить до операторів через відповідну сигналізацію.

Система має аварійну сигналізацію, реалізовану на основі:

- контактів аварійних датчиків;
- зворотного сигналу з частотника (перевантаження/захист);
- таймерів і логічних реле.

На рисунку 4.4 представлена схема, яка реалізує запуск світлової та

звукової сигналізації у разі перевищення уставок або аварій.

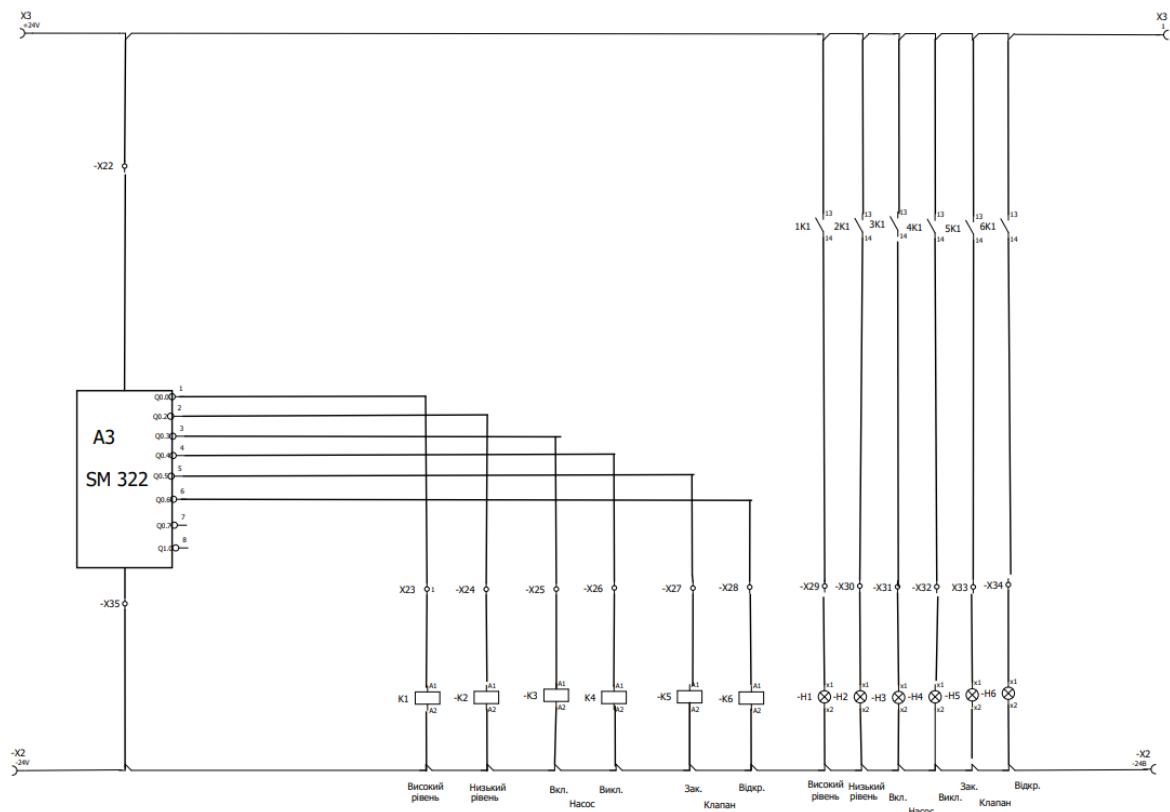


Рисунок 4.5 – Схема сигналізації аварійного стану рівня і тиску

Схема щита управління.

Схема щита управління, наведена на рисунку 4.5, демонструє розташування основних елементів системи автоматизації. У щиті встановлені ПЛК Siemens S7-300, операторська панель TP177, автомати захисту, реле сигналізації, перемикач режимів роботи, кнопки «Старт», «Стоп», «Скидання аварії» та сигнальні лампи. Такий щит є центральним елементом керування й забезпечує повне обслуговування обладнання без необхідності відкривати шафу. Усі органи керування та індикації, а також підключення до зовнішніх пристроїв і живлення, виведені на передню панель для зручності експлуатації.

На рисунку 4.5 представлено вигляд щита автоматизації з розміщенням:

- ПЛК Siemens S7-300;
- панелі оператора TP177;

- автоматів захисту;
- реле сигналізації;
- перемикача режимів (ручний/автоматичний);
- кнопок «Старт», «Стоп», «Скидання аварії»;
- сигнальних ламп.

Цей щит є центром керування системою й передбачає обслуговування без відкриття шафи.

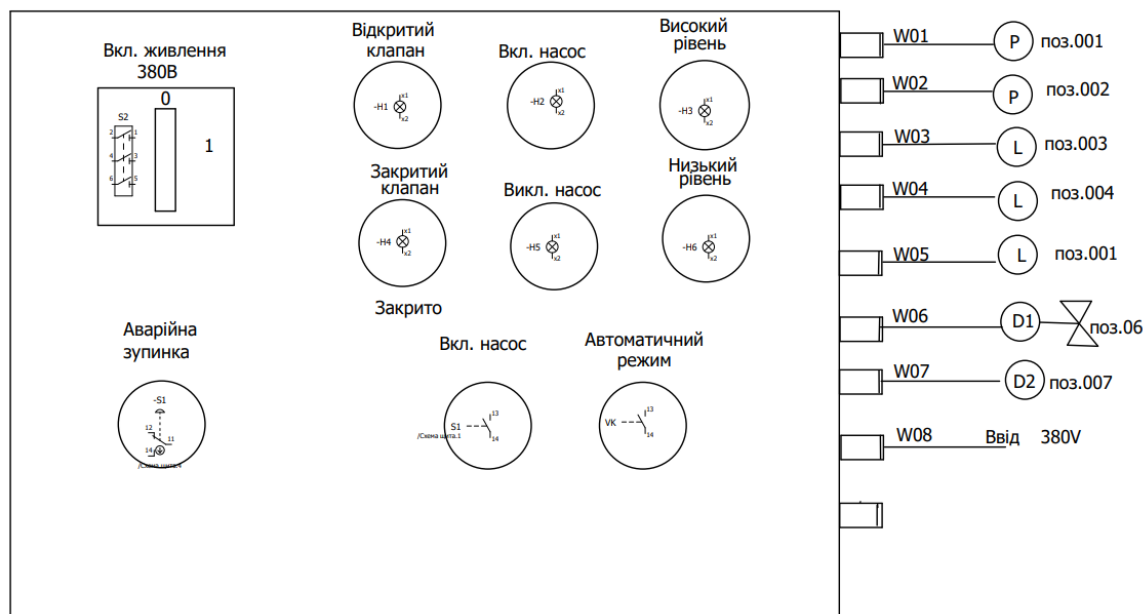


Рисунок 4.6 – Схема щита управління

4.4 Розробка проектних рішень для системи керування

Верхній рівень автоматизованої системи керування колтюбінговою установкою реалізовано з використанням SCADA-рішення на основі панелі оператора TP177 та програмного забезпечення WinCC Flexible, що забезпечує:

- повноцінну візуалізацію;
- введення уставок;
- ручне/автоматичне керування;
- сигналізацію та діагностику;
- взаємодію з ПЛК у режимі реального часу.

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Основні функції верхнього рівня.

SCADA-рішення побудоване за структурою мнемосхем і вікон, що дають доступ до таких функцій:

- перегляд поточних технологічних параметрів;
- зміна уставок (рівень, тиск, струм);
- налаштування ПД-регуляторів;
- перемикання між ручним та автоматичним режимами;
- виведення аварій, архів подій, скидання;
- підтвердження команд оператором.

Візуальні екрани.

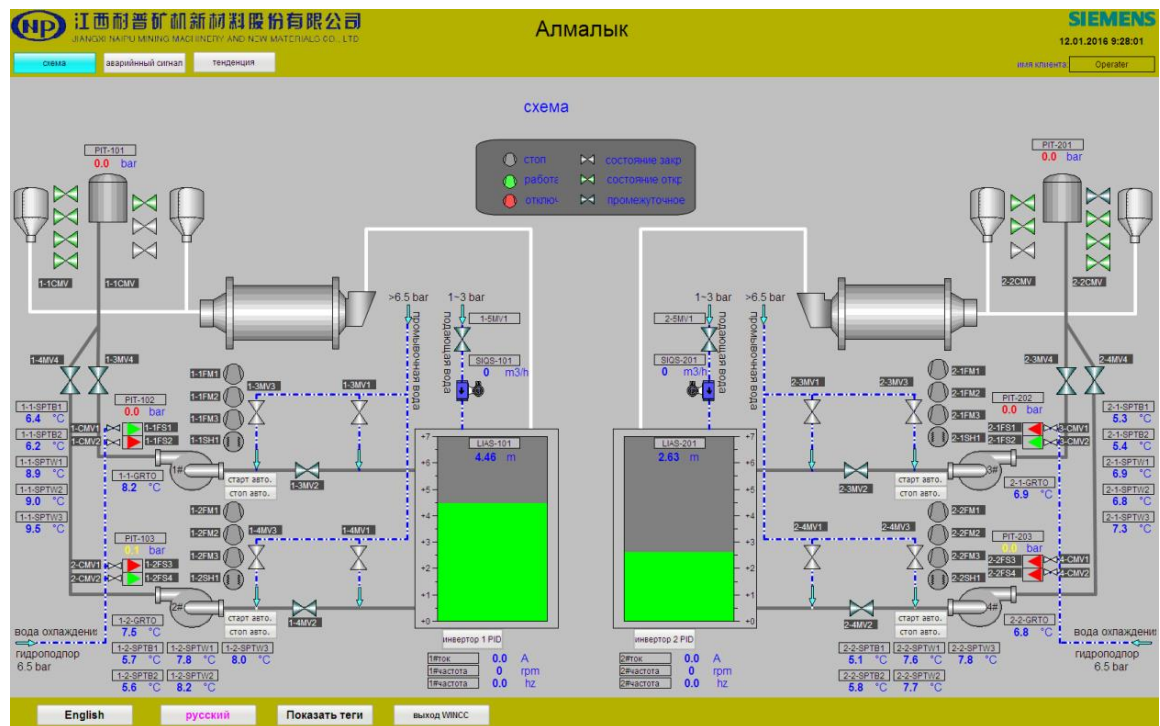


Рисунок 4.7 – Головний екран SCADA-панелі оператора

Виводить рівень у зумпфі, тиск, стан обладнання (насос, клапан), активний режим, а також навігаційні кнопки до уставок, керування, аварій.

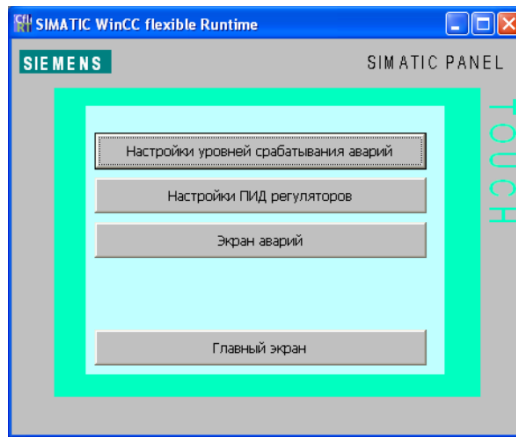


Рисунок 4.8 – Меню доступа до уставок і налаштувань

Экран з кнопками переходу: "Уставки", "Параметри ПІД", "Ручне керування", "Аварії".

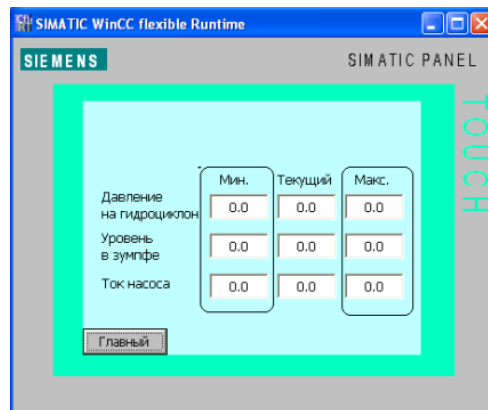


Рисунок 4.9 – Введення уставок рівня, тиску та струму

Три блоки для кожного параметра: мінімум – поточне значення – максимум. Активні поля дозволяють змінювати межі уставок.

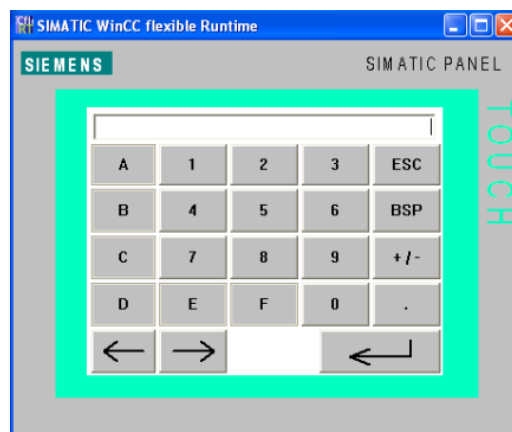


Рисунок 4.10 – Віртуальна клавіатура для введення значень

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Після натискання на поле з уставкою з'являється екранна клавіатура з кнопками 0–9 та кнопкою підтвердження.

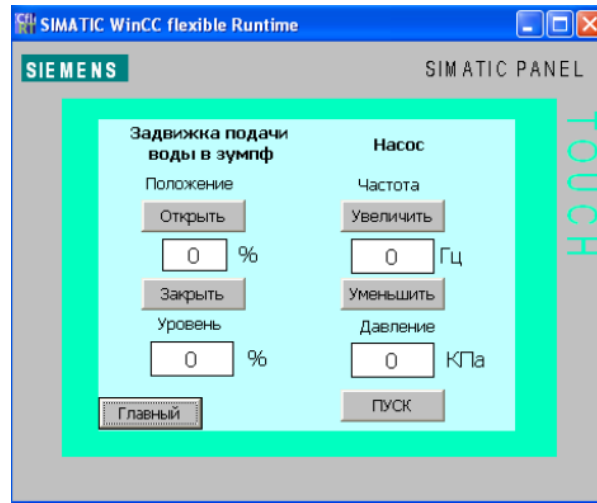


Рисунок 4.11 – Екран ручного керування заслонкою і насосом

Оператор може відкривати/закривати клапан, запускати або зупиняти насос, змінювати оберти насоса. Всі значення виводяться у цифрах (частота, тиск, рівень).

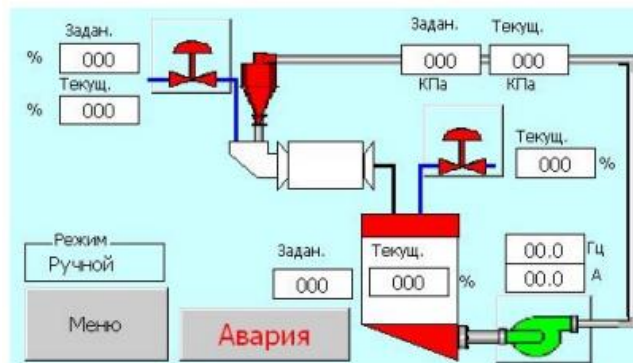


Рисунок 4.12 – Екран діагностики: аварії, час, скидання

Виводиться список останніх подій: дата, час, опис, код. Кнопки "Скинути аварію", "Очистити список".

Таблиця 4.2 – Алгоритми реагування на граничні відхилення параметрів

Контрольований параметр	Тип відхилення	Автоматична реакція системи
Рівень у ємкості приготування розчину	Менше мінімального	Відкриття клапана подачі, зменшення частоти обертів насоса
	Більше максимального	Закриття клапана подачі, збільшення частоти обертів насоса
Тиск на вході насоса	Менше мінімального	Зупинка насоса, перекриття подачі, подача сигналу тривоги
	Більше максимального	Зупинка насоса, сигналізація перевищення
Струм електродвигуна	Вихід за межі норми	Індикація попередження на екрані, блокування запуску насоса

4.5 Розробка програмного забезпечення для ПЛК

Програмне забезпечення системи автоматичного керування реалізовано на програмованому логічному контролері Siemens SIMATIC S7-300 з використанням мови структурованого тексту (SCL), відповідно до стандарту IEC 61131-3. Основне призначення програми — реалізувати алгоритм ПД-регулювання рівня в зумпфі, забезпечити аварійний захист та інтеграцію з SCADA.

Структура програми.

Програма побудована модульно, з використанням наступних блоків:

- OB1 – основний цикл виконання;
- FC_LevelControl – ПІД-регулятор рівня;
- FC_Alarms – обробка аварій;
- FC_Mode – перемикання режимів;
- DB_Level – зберігання параметрів регулювання;
- DB_System – змінні стану системи.

Вхідні/вихідні змінні.

```

1  VAR_INPUT
2     AI_Level : REAL;           // Аналоговий сигнал з датчика (4-20 мА)
3     SP_Level : REAL;           // Уставка рівня
4     Min_Level : REAL;          // Мінімально допустимий рівень
5     Max_Level : REAL;          // Максимально допустимий рівень
6     Mode_Auto : BOOL;          // Режим: TRUE - автомат, FALSE - ручний
7     Manual_Output : REAL;      // Ручне керування насосом
8  END_VAR
9
10 VAR_OUTPUT
11     AO_Pump : REAL;            // Сигнал на частотник (0-100%)
12     Alarm_LevelLow : BOOL;
13     Alarm_LevelHigh : BOOL;
14     Error_DryRun : BOOL;
15 END_VAR
16
17 VAR
18     Error : REAL;
19     PrevError : REAL := 0.0;
20     Integral : REAL := 0.0;
21     Derivative : REAL;
22     CV : REAL;
23     Kp : REAL := 2.5;
24     Ki : REAL := 0.1;
25     Kd : REAL := 0.05;
26     dt : REAL := 0.1;         // Період циклу у секундах
27 END_VAR

```

Логіка виконання (основний цикл).

```

29 // Перевірка аварійного рівня
30 Alarm_LevelLow := AI_Level < Min_Level;
31 Alarm_LevelHigh := AI_Level > Max_Level;
32 Error_DryRun := Alarm_LevelLow;
33
34 // У ручному режимі - пряма передача сигналу
35 IF NOT Mode_Auto THEN
36     AO_Pump := Manual_Output;
37 ELSE
38     // Обчислення ПІД-регулятора
39     Error := SP_Level - AI_Level;
40     Integral := Integral + Error * dt;
41     Derivative := (Error - PrevError) / dt;
42
43     // Обчислення керуючої дії
44     CV := (Kp * Error) + (Ki * Integral) + (Kd * Derivative);
45
46     // Обмеження
47     IF CV > 100.0 THEN CV := 100.0; END_IF;
48     IF CV < 0.0 THEN CV := 0.0; END_IF;
49
50     // Вивід
51     AO_Pump := CV;
52
53     // Зберегти похибку для наступного циклу
54     PrevError := Error;
55 END_IF;

```

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Аварійна обробка.

```
57 // Блокування роботи при аварії
58 IF Error_DryRun THEN
59     AO_Pump := 0.0;
60 END_IF;
```

Комунікація з SCADA

Для інтеграції з SCADA-системою передбачено обмін через змінні:

- AI_Level, SP_Level, AO_Pump – для візуалізації;
- Kp, Ki, Kd – редаговані з панелі;
- Alarm_LevelLow, Alarm_LevelHigh, Error_DryRun – індикатори аварій;
- Mode_Auto – перемикач режиму;
- Manual_Output – значення ручного керування.

SCADA-система зчитує й записує ці значення у DB_Level та DB_System.

4.6 Оцінка проєктної надійності

Надійність автоматизованої системи керування є одним із критичних чинників ефективного та безпечного функціонування колтубінгової установки. В умовах інтенсивного виробництва будь-яка відмова елементів або програмних алгоритмів може призвести до зупинки процесу, перевитрати реагентів або аварійної ситуації. Тому проєкт системи автоматизації було реалізовано з урахуванням вимог високої технічної і функціональної надійності.

Надійність апаратної частини.

До складу системи автоматизації входить обладнання, відоме своєю промисловою надійністю:

- Контролер Siemens S7-300 має тривалий термін служби (до 20 років), працює у жорстких умовах навколишнього середовища, підтримує резервування, захищений від перенапруг та перешкод;
- Датчики Siemens Sitrans (рівня, тиску) мають ступінь захисту IP65–IP68, не мають рухомих частин, що мінімізує знос;
- Частотний перетворювач Sinamics G120 має вбудовані захисти: від

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

короткого замикання, перевантаження, перегріву, та підтримує автоматичне перезапускання;

- Електроприводи затворів, насосне обладнання та комутаційна апаратура підібрані з запасом по навантаженню не менше 25 %, що гарантує їхню стабільну роботу в пікових режимах.

Надійність програмної частини.

Під час розробки програмного забезпечення контролера враховано наступні принципи:

- Модульність коду – кожен функціональний блок виконує одну задачу (обробка сигналів, ПД-регулювання, аварії тощо), що дозволяє локалізувати потенційні помилки;
- Перевірка входних сигналів – реалізовано перевірку діапазонів аналогових значень та станів дискретних входів;
- Логіка блокувань – при виявленні аномалії (перевищення тиску, низький рівень, перенавантаження струму) система переходить у безпечний стан: вимикає насос, перекриває подачу, сигналізує аварію;
- Тестування в середовищі симуляції – усі режими програми попередньо протестовані у STEP 7 Simulator або S7-PLCSIM.

Надійність з точки зору резервування.

У системі передбачено логічне резервування критичних функцій:

- аварійні поплавкові датчики дублюють ультразвуковий контроль рівня;
- аварійні сигнали формуються паралельно як в SCADA, так і на фізичних виходах;
- частотний перетворювач налаштовано на автоматичне перезапускання.

Надійність експлуатаційна.

Система орієнтована на мінімізацію втручання оператора:

- автоматичне повернення до безпечного стану при помилці;
- інтуїтивно зрозумілий інтерфейс із повідомленнями про помилки;
- індикація кожного режиму та стану елементів;

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

- обмеження можливості помилкового ручного втручання (наприклад, блокування кнопок SCADA при активному автоматичному режимі).

Обладнання змонтоване у шафі автоматики з вентиляцією, ступенем захисту IP54, що додатково підвищує загальну надійність.

Висновки до розділу

Розроблено повний комплект проектної документації: функціональну, електричну, структурну та технологічну схеми, специфікації обладнання та монтажу, схеми сигналізації. Вибрано контролер Siemens S7-300, частотний перетворювач Sinamics G120, датчики тиску і рівня з виходом 4–20 мА. Описано SCADA-інтерфейс для візуалізації та ручного/автоматичного керування. Надано техніко-програмне обґрунтування всіх компонентів. Проведено оцінку надійності та відповідності вимогам вибухозахисту.

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі реалізовано повний цикл розробки автоматизованої системи керування для процесу буріння з використанням колтюбінгової установки. Проведено аналіз об'єкта автоматизації, виокремлено критично важливі параметри, такі як рівень бурового розчину, тиск і витрата. Побудовано математичну модель системи, виконано моделювання та синтезовано ПД-регулятор із подальшим дослідженням його роботи на стійкість і якість перехідних процесів.

Розроблено функціональну, структурну, електричну схеми, схему аварійної сигналізації та специфікацію підключення приладів. Обґрунтовано вибір обладнання, включаючи контролер Siemens S7-300, датчики 4–20 мА, частотний перетворювач Sinamics G120. Передбачено використання SCADA-системи для візуалізації та налаштування.

Система забезпечує стабільну роботу в умовах промислової експлуатації, відповідає вимогам надійності, енергоефективності та безпеки. Запропоноване рішення підвищує ефективність бурових операцій і рекомендоване до впровадження у нафтогазовій галузі.

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Положення про підготовку бакалаврів в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу: введено в дію наказом ректора від 16 березня 2020 р. No 79. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2020. 12 с.

2. Положення про академічну доброчесність працівників та здобувачів вищої освіти Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу введено в дію наказом ректора від 13 грудня 2019 р. No 327. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2019. 21 с.

3. Лагойда А. І. Програмно-технічні комплекси та програмне забезпечення автоматизованих систем управління технологічними процесами [Текст]: метод. вказ. до викон. курс. проекту / А. І. Лагойда, Л. І. Лагойда, М. І. Когутяк. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2023. – 66 с.

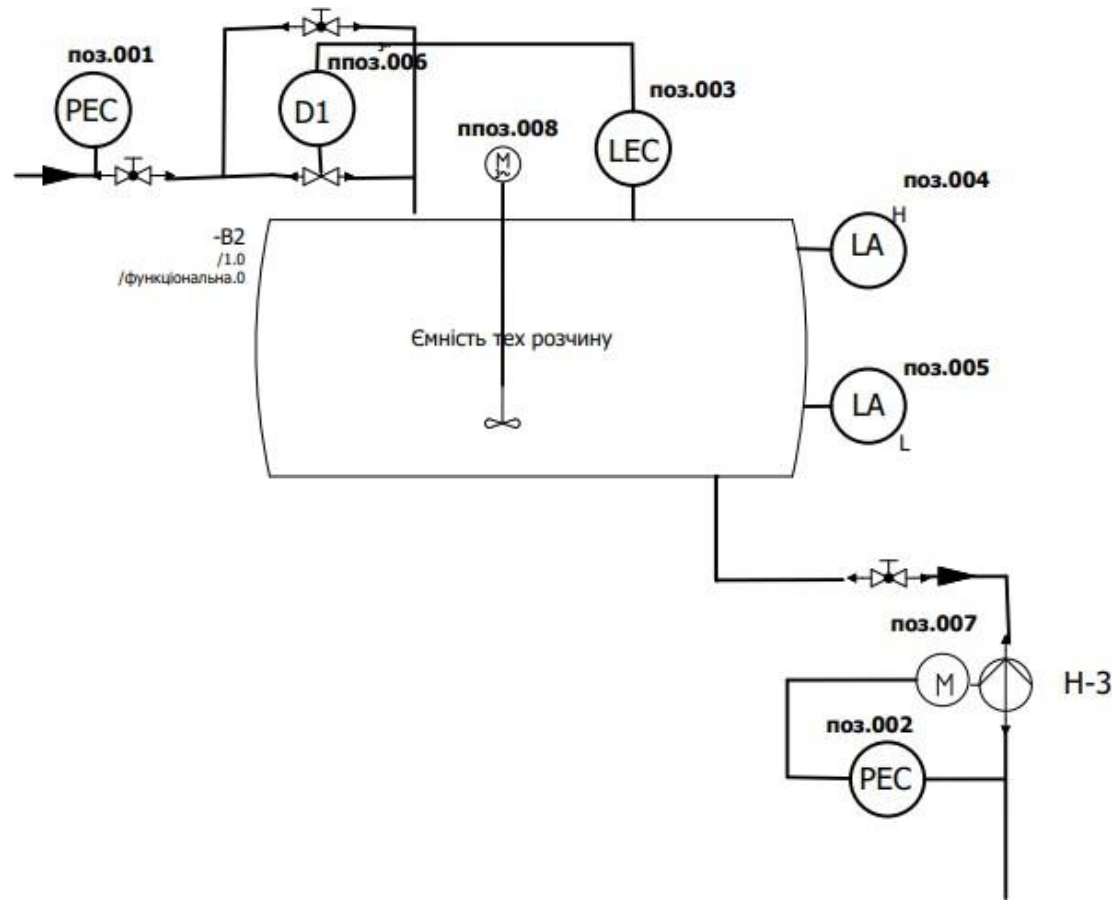
4. Brown M., Lusted I. “Automating Candidate Selection for Coiled-Tubing Drilling” [Текст] : тех. доп./ Brown M., Lusted I. – Presented at SPE/ICoTA Coiled Tubing Roundtable, Houston, TX, USA, березень 2018. – 12 с. – Розглядаються методи автоматизованого відбору параметрів для СТ-буріння.

5. Gu M., Walton I.C. “Designing Under- and Near-Balanced Coiled-Tubing Drilling Using Computer Simulations” [Текст] : доповідь / Gu M., Walton I.C. – Presented at SPE 35665, Western Regional Meeting, Anchorage, AK, USA, травень 2020. – 10 с. – Описуються комп’ютерні алгоритми автоматизованого керування технологічним процесом СТ-буріння.

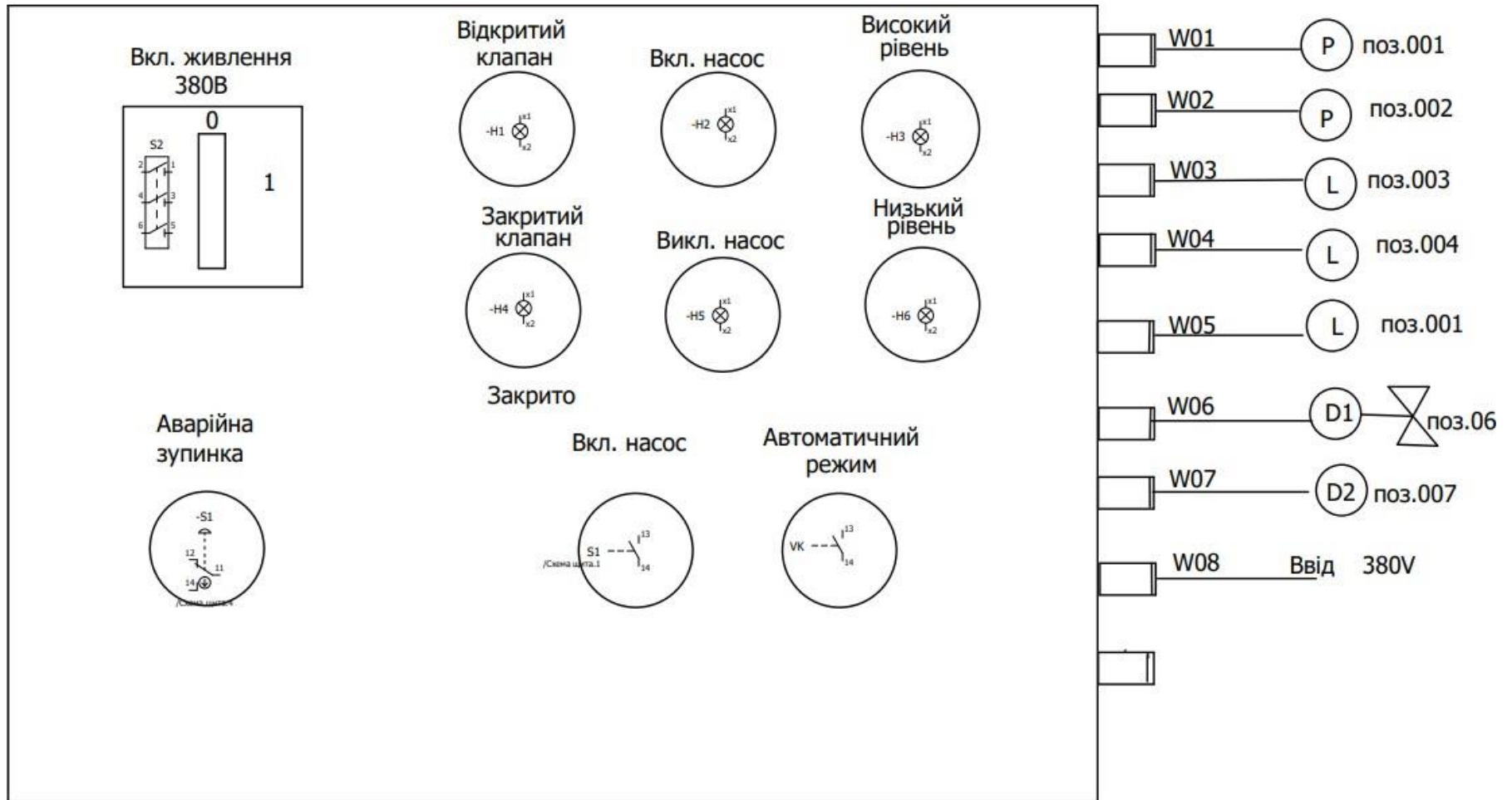
6. Newman K.R., Stone L.R., Wolhart S. “The Feasibility of Using an Electric Downhole Motor to Drill with Coiled Tubing” [Текст] : тех. доп./ Newman K.R., Stone L.R., Wolhart S. – Presented at SPE 36343, 1-й SPE/ICoTA North America CT Roundtable, Conroe, TX, USA, лютий 2017. – 15 с. – Оцінюється концепція автоматизованого електроприводу для СТ-буріння.

					БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

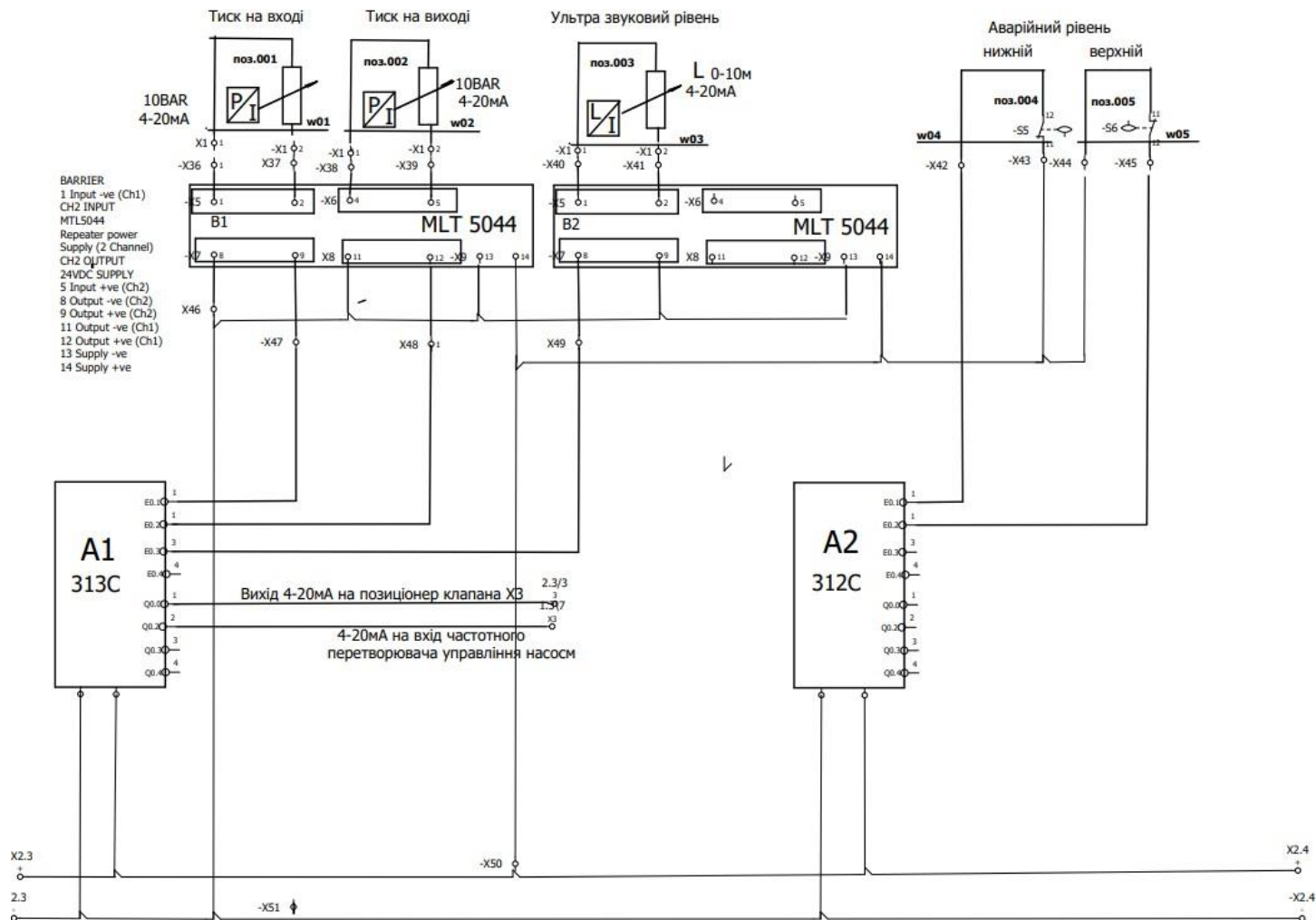
ДОДАТКИ



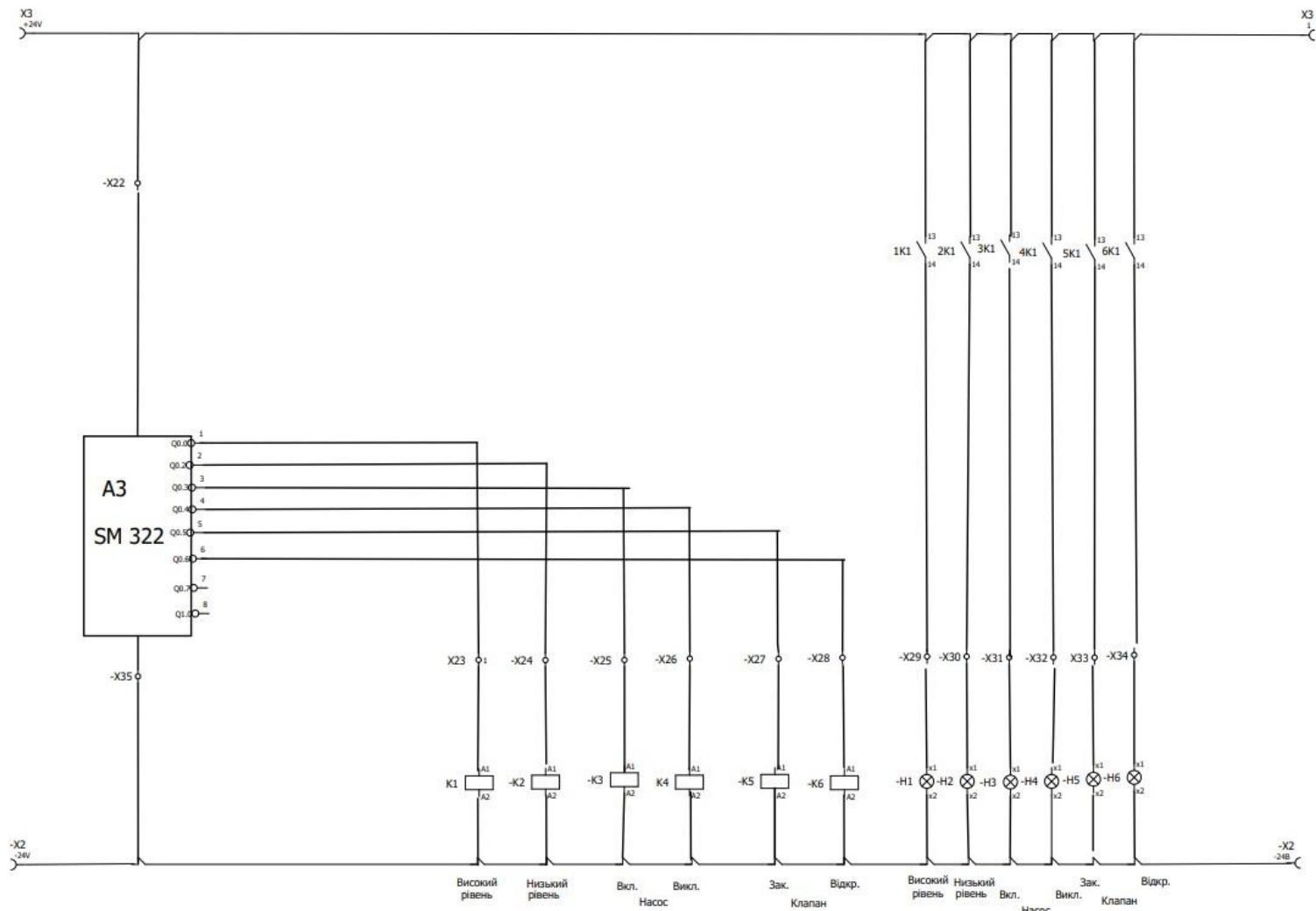
					БР.АКП-05.00.00.003					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація буріння за допомогою колтубінгової установки			Літера	Маса	Масштаб
Розробив		Бойко В.В.								
Перевірив		Кучмистенко О.В.								
Т. Контроль										
Рецензент		Борин В.С.								
					Функціональна схема			АКП-23-1К ІФНТУНГ		
Н. Контроль										
Затвердив		Лагойда А.І.						Арк.	Аркушів	



					БР.АКП-05.00.00.005					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація буріння за допомогою колтюбінгової установки			Літера	Маса	Масштаб
Розробив		Бойко В.В.								
Перевірив		Кучмистенко О.В.								
Т. Контроль										
Рецензент		Борин В.С.						Арк.	Аркушів	
Н. Контроль					Схема щита управління			АКП-23-1К ІФНТУНГ		
Затвердив		Лагойда А.І.								



					БР.АКП-05.00.00.006					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація буріння за допомогою колтюбінгової установки			Літера	Маса	Масштаб
Розробив		Бойко В.В.								
Перевірив		Кучмистенко О.В.								
Т. Контроль										
Рецензент		Борин В.С.						Арк.	Аркушів	
Н. Контроль					Схема підключення приладів			АКП-23-1К ІФНТУНГ		
Затвердив		Лагойда А.І.								



					БР.АКП-05.00.00.007		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація буріння за допомогою колтюбінгової установки		
Розробив		Бойко В. В.					
Перевірив		Кучмистенко О.В.					
Т. Контроль							
Рецензент		Борин В.С.			Літера	Маса	Масштаб
					Арк.	Аркушів	
Н. Контроль					АКП-23-1К ІФНТУНГ		
Затвердив		Лагойда А.І.					
Схема сигналізації							

Призначення Назва	Ввід		Клемники			Вихід		№ сторінки			
	Позиція	Позначення	Клеми	Х4	Клеми	Позначення	Позиція				
Блок живлення 380-24В	V1	ABLU3A24100	13	● 22 ● ● ●	13	Контакт NC	K1	2			
			13		13	Контакт NC	K2	2			
			13		13	Контакт NC	K3	2			
			13		13	Контакт NC		2			
Simatic sm322	A3	SM322	Q 0.1	23	A1	Реле 24В	K1	2			
	A3	SM322	Q 0.2	24	A1	Реле 24В	K2	2			
	A3	SM322	Q 0.3	25	A1	Реле 24В	K3	2			
	A3	SM322	Q 0.4	26	A1	Реле 24В	K4	2			
	A3	SM322	Q 0.5	27	A1	Реле 24В	K5	2			
	A3	SM322	Q 0.6	28	A1	Реле 24В	K6	2			
Реле RXM4AB1B7	1K	Контакт NC	14	29	X1	XB5AAVB3	H1	2			
	2K	Контакт NC	14	30	X1	XB5AAVB3	H2	2			
	3K	Контакт NC	14	31	X1	XB5AAVB5	H3	2			
	4K	Контакт NC	14	32	X1	XB5AAVB4	H4	2			
	5K	Контакт NC	14	33	X1	XB5AAVB4	H5	2			
	6K	Контакт NC	14	34	X1	XB5AAVB3	H6	2			
Блок живлення 380-24В	V1	ABLU3A24100	-24V	● 35 ● ● ● ● ●							
			K1		Реле 24В	A2	36		XB5AAVB3	H1	2
			K2		Реле 24В	A2	37	X2	XB5AAVB3	H2	2
			K3		Реле 24В	A2	38	X2	XB5AAVB3	H3	2
			K4		Реле 24В	A2	39	X2	XB5AAVB4	H4	2
			K5		Реле 24В	A2	40	X2	XB5AAVB4	H5	2
			K6		Реле 24В	A2	41	X2	XB5AAVB3	H6	2

					БР.АКП-05.00.00.008				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація буріння за допомогою колтюбінгової установки	Літера	Маса	Масштаб	
Розробив		Бойко В. В.							
Перевірив		Кучмистенко О.В.							
Т. Контроль									
Рецензент		Борин В.С.				Арк.	Аркушів		
Н. Контроль						АКП-23-1К ІФНТУНГ			
Затвердив		Лагойда А.І.			Схема сигналізації Х-4				

Призначення Назва	Ввід		Клемник			Вихід		№ сторінки
	Позиція	Позначення		X5		Позиція	Позначення	
Датчик тиску 0-10BAR 4-20mA	001	01149 GEM SENSOR	X1 +1	36	+1 X5	B1	MLT 5044	
			X1 - 2	37	-2 X5			
Датчик тиску 0-10BAR 4-20mA	002	01149 GEM SENSOR	X1 +1	38	+4 X6	B1	MLT 5044	
			X1 - 2	39	-5 X6			
Ультра звуковий датчик рівня 4-20mA	003	01149 GEM SENSOR	X1 - 2	40	+1 X5	B2	MLT 5044	
			X1 +1	41	- 2 X5			
Поплавковий датчик рівня WIKA RLS-1000	004	S5	12	42				
		S5	11	43	X51	X5		
Поплавковий датчик рівня WIKA RLS-1000	005	S6	11	44	X51	X5		
		S6	12	45				
Блок живлення 380-12В		-24V		46		7X8/11X8/8X7		
Контролер Simatic	B1	A313C		47	E.0.1	A313C		
	B1	A313C		48	E.0.2	A313C		
	B2	A312C		49	E.0.3	A313C		
Блок живлення 380-12В		+24V		50	14B1			
				51	14B2			

					БР.АКП-05.00.00.009				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація буріння за допомогою колтюбінгової установки	Літера	Маса	Масштаб	
Розробив		Бойко В. В.							
Перевірив		Кучмистенко О.В.							
Т. Контроль									
Рецензент		Борин В.С.				Арк.	Аркушів		
Н. Контроль					Схема клемника X-5	АКП-23-1К ІФНТУНГ			
Затвердив		Лагойда А.І.							

Призначення Назва	Ввід		Клемник			Вихід		№ сторінки
	Позиція	Позначення	Клемник приладів	X-1	Клемник арматури	Позиція	Позначення	
Блок живлення 380-12В	V1	AVT320V55N4C	X1	1	1	F1		
Авт. вимикач 6А	F1	EZ9 6А	2	2	2	V1		
	F1	EZ9 6А	3	3	3	V1		
Авт. вимикач 3А	F8	EZ9 3А	4	4	2	M2	AUMA SAEх07.6	
Авт. вимикач 3А	F3	EZ9 3А	2	5	13	S1		
Авар. вимикач	S1	XB7NS8445	11	6				
Магнітний пускач	Q1	LC1E2510	A1					
Авт. вимикач 16А	F4	EZ9 16А	2	7	7	Q1		
	F4	EZ9 16А	4	8	3	Q1		
	F4	EZ9 16А	6	9	6	Q1		
Магнітний пускач	Q1		2	10	R	UZ		
	Q1	LC1E2510	4	11	S	UZ		
	Q1		6	12	T	UZ		
Частотний перетворювач	UZ	AVT320V55N4C	2	13	1	R1	EBGUP800-150R	
					U	UZ		
			4	14	W	UZ		
	UZ	AVT320V55N4C	6		1	R2	EBGUP800-150R	
				15	V	UZ		
					1	R3	EBGUP800-150R	
	UZ	AVT320V55N4C		16				
	VK3			17				

					БР.АКП-05.00.00.010					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація буріння за допомогою колтюбінгової установки			Літера	Маса	Масштаб
Розробив		Бойко В. В.								
Перевірив		Кучмистенко О.В.								
Т. Контроль										
Рецензент		Борин В.С.						Арк.	Аркушів	
Н. Контроль					Схема клемника X-1			АКП-23-1К ІФНТУНГ		
Затвердив		Лагойда А.І.								