

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно- інтегрованих технологій, автоматизації,
електроінженерії та радіоелектроніки
(повне найменування інституту, назва факультету)

Автоматика та телекомунікації
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри АТ
В.В. Поцєпаєв

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 2020 р.

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Розробка системи автоматичного керування буровою установкою

Виконав : студент 4 курсу, групи АКТзп-17
(шифр групи)

спеціальності

151 Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Мельник Я.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник доцент, к.ф-м. н., доц. Лєсіна Є.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент

(підпис)

Покровськ – 2020 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно- інтегрованих технологій, автоматизації,
електроінженерії та радіоелектроніки
(повне найменування інституту, назва факультету)

Автоматика та телекомунікації

(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____
секретар ДЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Розробка системи автоматичного керування буровою установкою

Виконав студент групи АКТзп-17

(підпис, дата)

Я.В. Мельник

(ініціали, прізвище)

Керівник

(підпис, дата)

Є.В. Лесіна

(ініціали, прізвище)

Зав. каф. автоматики та телекомунікацій

(підпис, дата)

В.В.Поцєпаєв

(ініціали, прізвище)

Консультанти

(підпис, дата)

(ініціали, прізвище)

В.В.Поцєпаєв

(підпис, дата)

(ініціали, прізвище)

(підпис, дата)

(ініціали, прізвище)

Нормоконтролер

(підпис, дата)

асистент. Д.О.Жуковська

(ініціали, прізвище)

Покровськ – 2020 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації
електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра автоматика та телекомунікації

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____/ В.В.Поцєпаєв
“ ____ ” ____ 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Мельнику Ярославу Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи автоматичного керування
буровою установкою

керівник роботи: доцент, к.ф-м. н., доц. Є.В. Лесіна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від “ ____ ” 2020 року № ____

2. Строк подання студентом роботи ____

3. Вихідні дані до роботи: НДРС, практика

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

- 1) Аналіз бурової установки як об'єкта керування.
- 2) Обґрунтування напрямку автоматизації.
- 3) Розробка алгоритму, структурної та принципової схеми системи автоматичного керування буровою установкою.
- 4) Заходи з охорони праці.
- 5) Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень).

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	Поцєпаєв В.В., зав. каф.		
	Жовтобрух С.А., ст. викл.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз об'єкта	05.05.2020	
2	Огляд існуючих рішень	08.05.2020	
3	Розробка функціональної схеми	11.05.2020	
4	Вибір технічних засобів	16.05.2020	
5	Отримання математичної моделі	21.05.2020	
6	Синтез регулятора	26.05.2020	
7	Моделювання системи	02.06.2020	
8	Охорона праці	09.06.2020	
9	Оформлення	12.06.2020	

Студент _____ Мельник Я.В.

Керівник _____ Лесіна Є.В.

Лист зауважень

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Мельник Ярослав Вікторович «Розробка системи автоматичного керування буровою установкою» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2020.

Бакалаврська робота містить 66 сторінок тексту, 31 рисунок, 15 таблиць, 1 додаток.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування буровою установкою.

Мета роботи – розробити систему автоматичного керування буровою установкою.

Виконано аналіз об'єкту автоматизації, обґрунтування необхідних показників САК: призначення і технічні характеристики, призначення компонентів САК та принцип її дії. Виконаний аналітичний огляд та аналіз існуючих рішень систем автоматичного керування процесом буріння.

Розроблено функціональну та принципову схему САК процесом буріння свердловин. Виконано обґрунтування вибору та розробка технічних засобів САК процесом буріння: датчика тиску, датчика лінійного переміщення, енкодера, приводів клапанів, частотного перетворювача, програмованого логічного контролера, промислового комп'ютера. Розроблені алгоритми програм системи автоматичного керування процесом буріння.

Розроблена математична модель САК процесу буріння свердловин: обґрунтовано загальний вигляд математичної моделі процесу буріння глибоких свердловин, визначено залежності механічної швидкості буріння від режимних параметрів.

Розроблено заходи щодо охорони праці та безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві.

САК, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, БУРОВА УСТАНОВКА, ТИСК, ЛІНІЙНЕ ПЕРЕМІЩЕННЯ, ЕНКОДЕР, ПРИВІД КЛАПАНАУ, ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ПРОМИСЛОВИЙ КОНТРОЛЕР

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ БУРІННЯ, К ОБ'ЄКТУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	11
1.1 Опис технологічного процесу буріння.....	11
1.2 Огляд і аналіз існуючих рішень систем автоматичного керування процесом буріння.....	19
1.3 Постановка задачі на розробку системи автоматичного керування процесом буріння свердловин.....	25
Висновки до розділу 1.....	26
2 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМ САК ПРОЦЕСОМ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН.....	27
2.1 Функціональна схема технічних засобів системи автоматичного керування процесом буріння.....	27
2.2 Обґрунтування вибору та розробка технічних засобів САК процесом буріння.....	29
2.2.1 Вибір датчика тиску.....	29
2.2.2 Вибір датчика лінійного переміщення.....	30
2.2.3 Вибір енкодера.....	31
2.2.4 Вибір приводів клапанів.....	32
2.2.5 Вибір частотного перетворювача.....	33
2.2.6 Вибір програмованого логічного контролера.....	34
2.2.7 Вибір промислового комп'ютера.....	38
2.3 Алгоритми програм системи автоматичного керування процесом буріння.....	41
Висновки до розділу 2.....	45
3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ САК ПРОЦЕСУ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН.....	46
3.1 Обґрунтування загального вигляду математичної моделі процесу буріння глибоких свердловин.....	46
3.2 Визначення залежності механічної швидкості буріння від режимних параметрів.....	48
Висновки до розділу 3.....	52
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА ПІДПРИЄМСТВІ.....	53

4.1	Характеристика умов праці науково-дослідного відділу підприємств.....	53
4.2	Заходи щодо поліпшення умов праці.....	55
4.2.1	Мікроклімат робочого місця.....	56
4.2.2	Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності.....	58
4.3	Пожежна безпека.....	60
4.4	Безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	61
	ВИСНОВКИ.....	64
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65
	ДОДАТОК А. Характеристики обраного обладнання	67

ВСТУП

Актуальність буріння свердловин для України на теперішній час є надзвичайно важливою науково-технічною задачею. Доля нафти та газу в загальному балансі використання первинних енергоресурсів України складає 61 %. Пріоритетний ресурс – природний газ, його доля в енергобалансі коливається від 41 до 43 %. Україна відноситься до країн, які майже не задовольняють потреби в енергоресурсах за рахунок свого власного видобутку.

Однак, сам процес буріння є дуже капіталомістким: великі витрати електроенергії, дорогі станки та матеріали, які потрібні для проведення бурильних робіт. Щоб зменшити витрати на буріння необхідно впроваджувати нові енерго та ресурсозберігаючі технології. Але також можна знизити вартість одиниці продукції за рахунок використання оптимальних режимів роботи бурового станка, які знизили б витрати на електроенергію, матеріали, що стираються, а також збільшили б продуктивність бурового інструменту.

Для створення і використання таких систем в даний час створені передумови, з яких можна виділити наступні:

- впровадження на станках геологорозвідувального буріння новітніх приводів з плавним регулюванням;
- широке використання на практиці точної й достатньо надійної контрольно-вимірювальної апаратури комплексного контролю процесу буріння, а також апаратури контролю окремих параметрів, яка може використовуватись як для вимірювання, так і для реєстрації показників і параметрів режиму буріння;
- можливість використання сучасних засобів обчислювальної техніки при бурінні свердловин для визначення оптимальних режимних параметрів і часу буріння.

Нажаль, заводи-виробники сучасних серійних станків для проходки геологорозвідувальних свердловин не обладнують свої станки системами автоматичного керування процесом буріння. Це можна пояснити наступними причинами:

- складність технологічного процесу, яка обумовлена взаємним впливом показників при змінні умов буріння;
- неоднозначність і випадково змінна статична характеристика об'єкту;
- відсутність достатньо точної математичної моделі процесу буріння загального вигляду, і, як наслідок, алгоритму функціонування системи

керування станком, призначеного для роботи в різних умовах при зміні глибини свердловини.

Над цими проблемами працювало дуже багато вчених. Однак, в існуючих розробках недостатньо чітко визначені області застосування відомих в даний час критеріїв оптимізації, не встановлені причини наявності або відсутності екстремуму того чи іншого показника процесу буріння. Відсутність в даний час математичної моделі процесу буріння загального вигляду, використання часткових похідних, інколи суперечливих математичних моделей призводить до несумісних систем рівнянь по визначенню оптимальних режимів буріння, які або не мають рішень, або призводять до невірних висновків.

Перелічені проблеми свідчать про актуальність робіт, присвячених підвищенню ефективності процесу буріння геологорозвідувальних свердловин.

1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ БУРІННЯ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

1.1 Опис технологічного процесу буріння

Буріння – це процес руйнування гірських порід за допомогою спеціальної техніки, – бурового обладнання [1]. В цілому буріння поділяють на три основні види: вертикальне, похило-направлене буріння та горизонтальне буріння [2]. Найбільший інтерес являє собою вертикальне буріння, яке буде розглядатися в цій роботі в якості об'єкта керування.

Буріння свердловини – це процес споруди направленої циліндричної гірської виробітки в землі, діаметр якої малий в порівнянні з її довжиною по стволу, без доступу людини до забою. Початок свердловини на землі називають гирлом, дно – забоєм, а стінки свердловини утворюють її стовбур.

Свердловини в свою чергу також класифікуються за призначенням [3, 4]:

- структурно-пошукові – встановлення (уточнення тектоніки, стратиграфії, літології) без додаткової побудови свердловини;
- розвідувальні – служать для виявлення продуктивних об'єктів, а також для окантування вже розроблених нафтових та газоносних пластів;
- видобувні (експлуатаційні) – призначенні для видобутку нафти і газу з земних надр. До цієї категорії відносять також нагнітальні, оцінюючі, наглядові та параметричні свердловини;
- нагнітальні – призначенні для закачування в пласти води, газу або пару з метою підтримки пластового тиску або обробки призабійної зони. Ці заходи направлені на подовження періоду фонтанного способу видобутку нафти або збільшення ефективності видобутку;
- випереджально-видобувні – служать для видобутку нафти та газу з одночасним уточненням будови продуктивного пласту;
- оцінювальні – призначені для визначення нафтоводонасиченості і остаточної нафтонасиченості пласту (і проведення інших досліджень);
- контрольні і наглядові – призначені для нагляду за об'єктом розробки, дослідження характеру просування пластових флюїдів і зміни нафтогазонасичення пласту;
- опорні – служать для дослідження геологічної будови великих регіонів, щоб встановити загальні закономірності залягання гірських порід і виявити можливості утворення в цих породах родовищ нафти і газу.

За способом буріння установки діляться на [3, 4]:

- обертальні – механічне буріння, при якому руйнівне зусилля створюється безперервним обертанням породоруйнуючого інструменту з прикладанням осевого навантаження;

- роторні – обертальне буріння, при якому буровий снаряд обертається з обертачем роторного типу;

- турбінні – обертальне буріння, при якому породоруйнуючий інструмент обертається турбобуром;

- об'ємні – обертальне буріння, при якому породоруйнуючий інструмент обертається гвинтовим (об'ємним) двигуном;

- електробурові – обертальне буріння, при якому породоруйнуючий інструмент обертається електробуром;

- алмазні – обертальне буріння, при якому гірська порода руйнується породоруйнуючим інструментом, армованим алмазами;

- твердосплавні – обертальне буріння, при якому гірська порода руйнується породоруйнуючим інструментом, армованим твердими сплавами;

- дробові – обертальне буріння, при якому гірська порода руйнується дробом;

- ударні – механічне буріння, при якому руйнуюче зусилля створюється впливом ударів породоруйнуючого інструменту;

- ударно-канатні – ударне буріння, при якому зворотно-поступальний рух, що створюється станком, передається породоруйнуючому інструменту канатом;

- ударно-штангові – ударне буріння, при якому зворотно-поступальний рух, що створюється станком, передається породоруйнуючому інструменту бурильними трубами;

- вібраційні – механічне буріння, при якому впровадження бурового станка здійснюється віброударником;

- гідродинамічні – буріння, при якому гірська порода руйнується високонапірним струменем рідини;

- термічні – буріння, при якому гірська порода руйнується тепловим впливом.

- електрофізичні – буріння, при якому гірська порода руйнується під впливом сил, що виникають в результаті електричного розряду;

- хімічні – буріння, при якому гірська порода руйнується під впливом реагентів, що вступають з нею в хімічну реакцію;

– з промивкою – буріння, при якому продукти руйнування видаляються потоком промивної рідини;

– з продувкою – буріння, при якому продукти руйнування видаляються потоком газу.

Найбільш розповсюдженим видом буріння є вертикальне, а способом – обертальне роторне з промивкою. Роторні бурові установки використовуються для різних цілей: для розвідувального буріння нафти, під газові, водяні, геотермальні та нафтові свердловини, для взяття проб мінералів, а також в розробці надр та в будівельних проектах. Однак, найсуттєвіше застосування вони знайшли нафтогазовому бурінні. Тому дослідження цього методу є актуальним напрямком роботи.

Загальний вигляд вертикальної бурової установки має вигляд, представлений на рис. 1.1:

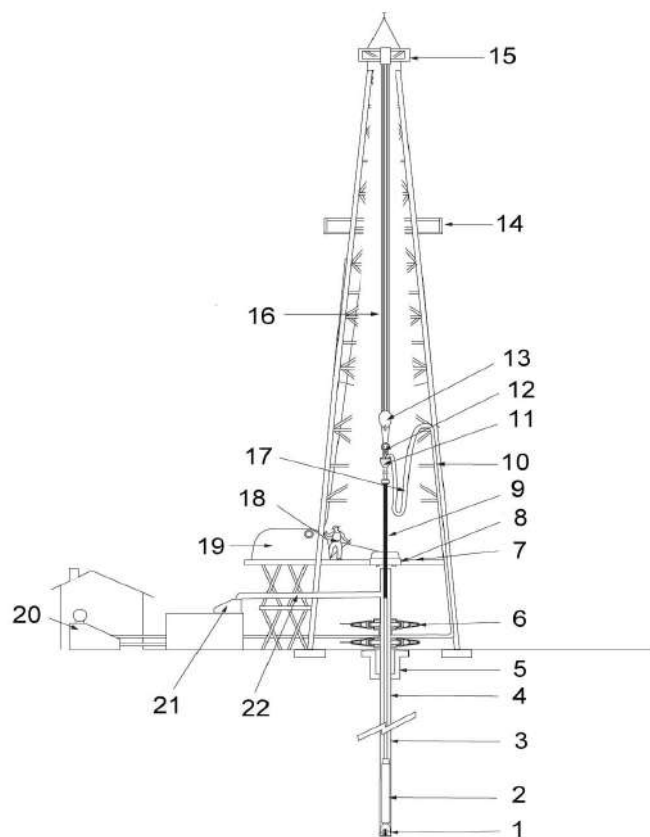


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд бурової установки

Бурова установка, представлена на рис. 1.1, складається з таких частин:
1 – бурове долото; 2 – обтяжені бурильні труби; 3 – бурильні труби;
4 – кондуктор; 5 – гирлова шахта; 6 – противикидний пристрій; 7 – підлога

бурової установки; 8 – буровий ротор; 9 – ведуча бурильна труба; 10 – буровий стояк; 11 – вертлюг; 12 – крюк; 13 – талевий блок; 14 – балкон верхового робочого; 15 – крон блок; 16 – талевий канат; 17 – шланг ведучої бурильної труби; 18 – індикатор навантаження на долото; 19 – бурова лебідка; 20 – буровий насос; 21 – вібраційне сито для бурового розчину; 22 – викидна лінія бурового розчину.

Цикл будівництва свердловини полягає в наступному. Насамперед виконуються підготовчі роботи до будівництва. Якщо потрібно, то отримуються документи на відведення лісової ділянки для вирубки лісу та відбувається безпосередньо вирубка. Далі розплановують площадку, відбувається будівництво житлового селища, підготовлюють основу для бурової. Будуються фундаменти під ємкості на складі паливно-мастильних матеріалів, завезення обладнання. Далі відбуваються вишкомонтажні роботи. Монтаж обладнання, ліній, підстав для вишки, блоків. Монтаж і підйом вишки. По завершенню монтажу бурової установки і будівництва інших споруд, бурова приймається спеціальною комісією. Перевіряється якість роботи, обладнання, стан охорони праці. Далі відбувається безпосередньо буріння свердловини (прохідка і кріплення). Після закінчення робіт, які були метою створення свердловини, відбувається демонтаж обладнання та споруд, а потім рекультивація відведеної площі.

Розглянемо більш докладно безпосередньо процес буріння свердловин [5]. Колонкове буріння складається з наступних основних процесів: руйнування гірської породи, видалення продуктів руйнування зі свердловини та спускопідйомних операцій. Процес руйнування гірської породи при механічному колонковому бурінні здійснюється під впливом осьового зусилля і крутного моменту. В залежності від співвідношення руйнуючих навантажень і опору гірської породи руйнування може носити об'ємний, поверхневий і втомний характер.

У роторному методі бурове долото підвішується на кінці бурильної колони, що складається з труб, яку підтримує система поліспастів, які закріплені на буровій вишці. Буріння вибраного місця відбувається, коли бурильна колона і долото бура обертаються, в той час, як маса бурильних труб і долота опирається знизу на гірську породу.

Головна функція долота – руйнувати гірську породу на забої свердловини і сприяти очистці забою від осколків породи. За принципом дії розрізняють долота [6]:

- різально-сколюючі (лопатеві долота), що застосовуються для руйнування в'язких і пластичних порід (рис. 1.2);
- подрібнювально-сколюючі (шарошкові долота), що застосовуються для руйнування більшості порід (рис. 1.3);
- ріжуче-стиральні (алмазні долота), що застосовуються для руйнування твердих абразивних порід (рис. 1.4).

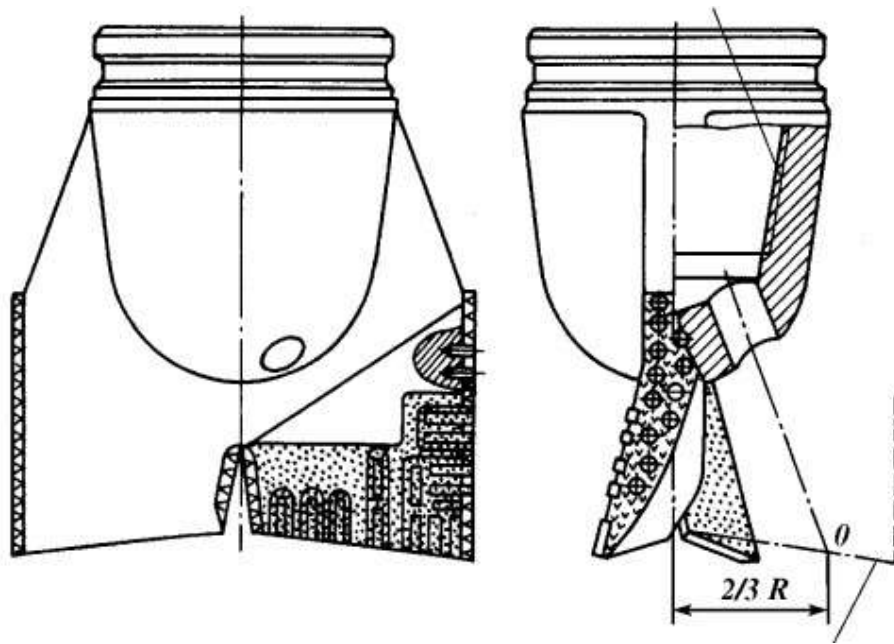


Рисунок 1.2 – Лопатеве долото

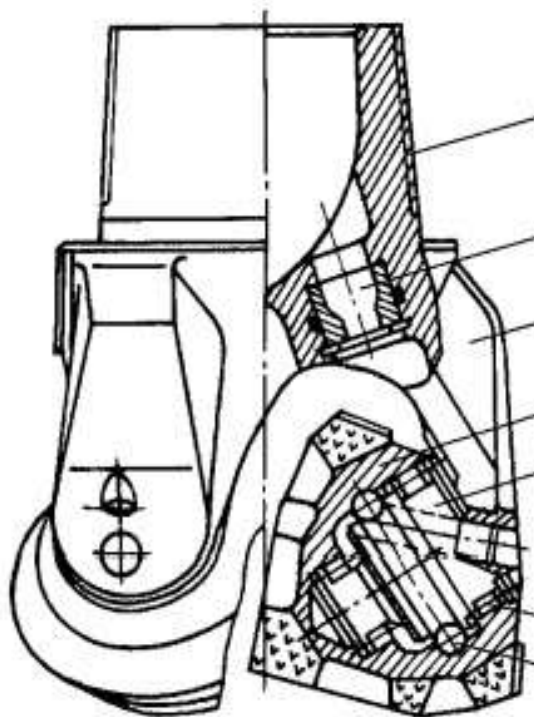


Рисунок 1.3 – Шарошкове долото

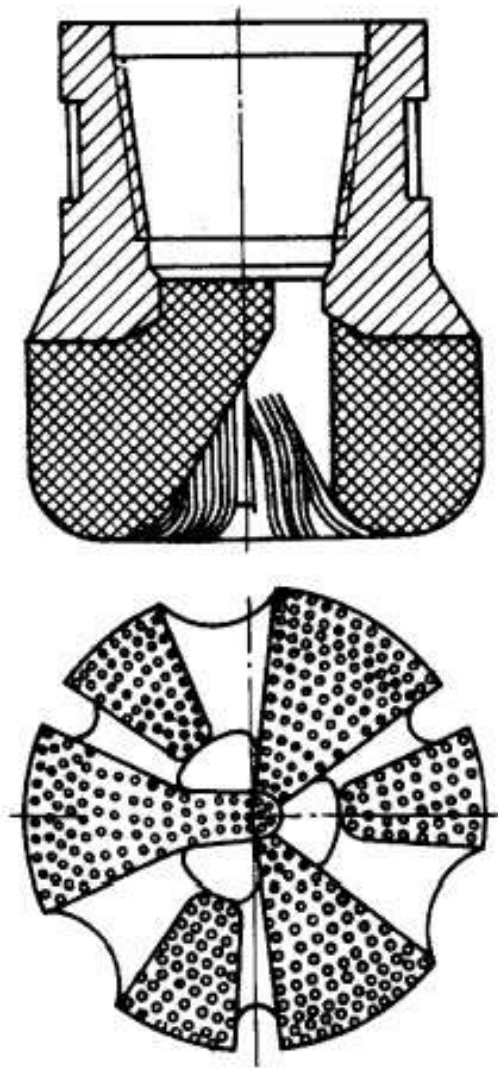


Рисунок 1.4 – Алмазне долото

За призначенням бурові долота розділяють на долота для проходки свердловини суцільним забоєм і долота для проходки стовбуру свердловини кільцевим забоєм (так звані колонкові долота або бурильні головки).

Основними елементами всіх доліт є: корпус, який має в верхній частині конічну (замкову) різьбу для приєднання до колони бурильних труб, промивальні пристрої для направлення струменів промивного агенту на забій, елементи, що руйнують породу.

Бурильна колона являє собою спущену у свердловину збірку з бурильних труб, скріплених між собою бурильними замками, призначену для подачі гідравлічної і механічної енергії до долота, для створення осевого навантаження на долото, а також для керування траєкторією свердловини, що буриться. Бурильні труби багаторазово з'єднують в бурильну колону по мірі проходження стовбуру свердловини.

Будучи сумісно з долотом і забійним двигуном буровим інструментом, бурильна колона виконує наступні функції:

- передає обертання від ротору до долота;
- сприймає від забійних двигунів реактивні моменти;
- подає до забою промивний агент;
- підводить гідравлічну потужність до долота і потужного гідравлічного двигуна;
- вдавлює долото в гірські породи на забої, діючи своєю силою тяжіння (осьове навантаження на долото створює частина бурильних труб – обтяжені бурильні труби);
- забезпечує заміну долота і потужного двигуна за допомогою транспортування їх до забою або на денну поверхню;
- дозволяє вести аварійні та інші спеціальні роботи в стволі свердловини.

Руйнування гірської породи відбувається в результаті взаємодії з поверхнею забою. Під впливом осьового зусилля різці врізаються в породу, а крутний момент, прикладений до верхнього кінця бурильної колони, передається і розповсюджує руйнування породи по всьому забою. Швидкість буріння залежить від глибини врізання різців і кутової швидкості обертання. Осьове зусилля забезпечується механізмом подачі (гідроциліндрами), а обертання долота проводиться обертаючим двигуном. Осьове зусилля і крутний момент передаються коронці за допомогою бурильної колони, по якій також відбувається подача до забою промивної рідини.

Для збереження долота бура холодним і змазаним, а також для видалення залишків руйнування гірської породи зі свердловини, буровий розчин нагнітають вниз по внутрішній частині бурильної колони. Процес видалення продуктів руйнування зі свердловини при механічному колонковому бурінні реалізується гідравлічним, пневматичним і комбінованими методами. Коли розчин досягає долота бура, він проходить через випускні отвори, впливає на забій свердловини і потім переміщується верх по кільцевому простору (простір між бурильною колоною і стінками свердловини) разом зі зваженими в ньому частинками зруйнованої гірської породи. На поверхні землі буровий розчин очищається через фільтри та інші пристрої, щоб видалити обломки гірської породи, а потім нагнітається назад у свердловину.

Від режиму промивки залежить раціональне ведення процесу буріння, а також зношення долота. Якщо кількість промивальної рідини недостатня для промивки свердловини і охолодження долота, то можливий випадок, коли

відбувається припік долота. При надмірній кількості промивальної рідини відбувається інтенсивний винос шламу з-під торця долота, що призводить до зниження зносу алмазомісткого слою матриці і поліровки алмазів та матеріалів матриці (у випадку з алмазним долотом), а також до зниження тертя, що зменшує ефективність процесу буріння.

Процес буріння геологорозвідувальних свердловин є циклічним. Цикл буріння, який називається рейсом, включає в себе: спуск на забій і підйом на поверхню, буріння (поглиблення) свердловини і промивка забою від продуктів руйнування. Основними механізмами, що забезпечують функціонування бурового станка є: підйомна лебідка, механізми подачі, обертання і промивки забою свердловини. Вони призначені для плавного регулювання технологічних (режимних) параметрів процесу буріння: кутової швидкості бурильної колони ω , осьового зусилля на забій свердловини P , і також кількості промивної рідини Q , що подається на забій свердловини для її очистки від продуктів руйнування і охолодження долота.

До основних показників процесу буріння відносяться: рейсова швидкість буріння, механічна швидкість буріння (тобто миттєва швидкість поглиблення свердловини), проходка на один оборот породоруйнуючого інструменту, вартість буріння одного метру свердловини, питомі витрати енергії та матеріалів, що стираються, часу буріння та загальна вартість свердловини.

У теперішній час відомі наступні критерії оптимізації буріння глибоких свердловин: критерій максимуму механічної швидкості буріння, максимуму проходки на інструмент, що руйнує породу, максимуму рейсової швидкості, максимуму проходки на один оберт породоруйнуючого інструменту (ПРІ), мінімуму вартості проходки одного метра свердловини, мінімуму питомих енерговитрат, мінімуму витрат матеріалів, що стираються та інші. В даній роботі в якості цільової функції використовується показник питомих енерговитрат.

Великий вплив на показники процесу буріння надають параметри бурового станка, інструмента, що руйнує породу, та конструкція свердловини (потужність натискних і обертаючого механізмів, тип долота, діаметр та глибина свердловини). Крім режимних параметрів і параметрів бурового станка на ефективність процесу буріння великий вплив надають різного роду обурення, які мають частіш за все випадковий характер. До них можна віднести різку зміну таких властивостей порід, як міцність, буримість, тріщинуватість, абразивність та інші. Слід зауважити, що властивості порід, що буряться, крім

того, що несуть випадковий характер, ще й в процесі буріння постійно змінюються. Вони можуть залежати від погодних умов, вологості, тощо. Тобто із спливанням часу в процесі буріння постійно необхідно шукати нові оптимальні режими буріння для нових властивостей порід.

1.2 Огляд і аналіз існуючих рішень систем автоматичного керування процесом буріння

Проблема оптимального керування процесом обертального роторного буріння глибоких свердловин до сьогоднішнього часу залишається не вирішеною, що пояснюється складністю зв'язків між показниками процесу буріння і технологічними параметрами, мінливістю коефіцієнтів цих зв'язків (дрейф статичної характеристики об'єкту) і відсутністю загальної теорії руйнування гірських порід.

У роботах [7, 8] проблема оптимізації процесу буріння глибоких свердловин зведена до вирішення таких основних задач:

- створення математичної моделі, яка адекватно і з достатньою для практичних цілей точністю описує процес буріння глибоких свердловин;
- вибір і обґрунтування техніко-економічного критерію ефективності введення бурових робіт;
- розробка оптимальних алгоритмів керування процесом буріння;
- створення і впровадження в практику робіт геологорозвідувальних організацій ефективних і надійних систем автоматичного керування процесом буріння глибоких свердловин.

Однак, незважаючи на усі проблеми, бурові установки піддавались автоматизації, і деколи досить успішно. Наприклад, у ФРГ в 1989 році приступили до оптимізації процесів буріння на основі мікроелектроніки при розробці рудних родовищ свердловинами великого діаметру. Але початі наукові дослідження та конструкторські роботи показали, що їх результати можуть бути використані і при інших видах буріння. Автори досліджень вважають, що впровадження систем автоматичного керування при бурінні свердловин великого діаметру дозволяє:

- збільшити швидкість буріння при зниженні питомого споживання енергії;
- створити умови для обслуговування бурового станку однією людиною та обслуговування однією бригадою декількох станків;

- скоротити непродуктивний час на початку і кінці зміни;
- максимально збільшити швидкість буріння при мінімізації витрат.

Вітчизняні науковці також займались розвитком автоматизації та оптимізації процесу буріння, і навіть не відставали, а навпаки опереждали своїх зарубіжних колег. Наприклад, О. А. Мініним у 1849 році був запропонований критерій максимуму рейсової швидкості буріння, а у 1950 році Є. Ф. Епштейн і Г. П. Попов дослідили критерій вартості проходки одного метру свердловини.

Як видно, вже в ті роки були спроби створення автоматичних систем керування процесом буріння. Вони, звичайно, були не ідеальні та не давали великого приросту ефективності, але деякий прогрес був. З ростом інтересу до цієї теми проводились нові дослідження та знаходились нові методи вирішення проблем оптимізації процесу буріння. Сумним є факт розвалу СРСР та занепаду економік країн, які входили до його складу, що призвело до занепаду також і геологічної галузі.

Найбільш детальний і повний аналіз систем автоматичного керування процесом буріння геологорозвідувальних свердловин приведено у роботах міністра геології СРСР Є. О. Козловського [7, 9]. Розглянемо принципи функціонування деяких систем автоматичного керування буровими станками, розробленими до теперішнього часу вітчизняними і зарубіжними вченими, та які реалізували той чи інший критерій оптимізації.

1) Буровий регулятор БР-1

Одним з перших приладів, призначених для оптимізації процесу буріння геологорозвідувальних свердловин на тверді корисні копалини, був буровий регулятор БР-1, створений ДКБ Міністерства геології СРСР. Даний регулятор змінював осьове зусилля на забій свердловини в залежності від властивостей порід, що буряться.

Буровий регулятор складається з наступних частин: підсумовувальний пристрій, посилювач, блок обмеження зусилля, датчик швидкості і датчик осьового зусилля.

Функціонування регулятора відбувається наступним чином. В підсумовувальному пристрої алгебраїчно складаються сигнали, пропорційні осьовому зусиллю P_z , поточному значенню осьового зусилля P та механічній швидкості буріння V згідно з виразом:

$$P_z = P + K \cdot V, \quad (2.1)$$

де P_z – задане осьове зусилля; P – поточне осьове зусилля; K – коефіцієнт робочої характеристики регулятора; V – механічна швидкість буріння.

Посилений сигнал з підсумовувального пристрою подається на виконавчий механізм, який керує осьовим зусиллям на забій.

При змінні властивостей породи, що буриться, або зношенні ПРІ змінюється механічна швидкість буріння, в результаті чого регулятор змінює осьове зусилля навантаження, приводячи його у відповідність до нових умов буріння.

Блок обмеження зусилля служить для захисту бурової колони і інструменту, що руйнує породу, від перенавантажень.

Недоліком цього регулятора є низька точність досягнення максимальної швидкості проходки. Це пояснюється тим, що: по-перше, регулятор управляє тільки одним режимним параметром (осьовим зусиллям), при чому значення цього параметру розраховується лінійною залежністю, а по-друге, необхідно для кожного долота, для кожної породи та техніки, що застосовується для буріння, розраховувати нову робочу характеристику регулятора, яка теж вносить похибку в розрахунки.

2) Статична самоналагоджувальна система регулювання процесу буріння

Система працює наступним чином. При бурінні в режимі $N = const$ (N – потужність, що подається до забою свердловини) та $Q = const$ (Q – кількість промивальної рідини) кожному визначеному поєднанню фізико-механічних властивостей породи і типорозміру бурового долота в площині режимних параметрів (P, ω) , де P – осьове зусилля на забій свердловини, а ω – кутова швидкість обертання долота, відповідає певна точка, якій відповідає максимальна механічна швидкість буріння і мінімальна інтенсивність зношення бурового долота.

Система складається з двох підсистем: автоматичної стабілізації навантаження двигуна обертача і підсистеми екстремального регулювання, які можуть працювати або сумісно, або автономно.

Підсистема стабілізації навантаження двигуна обертача включає в себе: датчик навантаження, елемент порівняння, регулятор навантаження, виконавчий двигун та регулюючий орган. При неузгодженості системи, тобто з відхиленням навантаження електродвигуна обертача від заданого рівня, виконавчому двигуну посилюється управляючий вплив, регулюючий орган змінює своє положення, в результаті чого змінюється осьовенавантаження на забій і потужність двигуна обертача, яка відновлюється до заданого рівня.

Підсистема екстремального регулювання складається з датчика механічної швидкості буріння, екстремального регулятора, виконавчого двигуна, пристрою обчислення коефіцієнту зношення, регулюючого органу і об'єкту регулювання.

Екстремальний регулятор на основі інформації, яка подається датчиком показнику ефективності процесу буріння, і заданого алгоритму керування виконує оцінку процесу буріння і посиляє керуючий вплив для зміни кутової швидкості обертання породоруйнуючого інструменту в напрямі, відповідному максимуму механічної швидкості буріння або мінімуму інтенсивності зношення породоруйнуючого інструменту.

Зі змінною кутової швидкості обертання ПРІ в підсистемі стабілізації навантаження електродвигуна з'являється неузгодженість і починається перехідний процес, після закінчення якого встановлюється нове значення осьового зусилля на забій свердловини.

Таким чином в результаті сумісної роботи двох підсистем виконується пошук точки з координатами P_{onm} і ω_{onm} , якій відповідає максимум механічної швидкості або мінімум інтенсивності зношення породоруйнуючого інструменту.

Але самоналагоджувальна система регулювання виконує в загальному випадку автоматичний пошук і підтримку локально оптимального режиму (за механічною швидкістю буріння). Використовуючи цю систему можна для даної породи визначити режимні параметри, що відповідають глобально оптимальним значенням механічної швидкості буріння і вартості проходки одного метру свердловини, але такий пошук займе багато часу, дасть дуже грубе приближення до оптимального режиму і потребує нового налагоджування системи при змінні властивостей порід, що буряться.

3) Система автоматизованої оптимізації процесу буріння САОПБ

Система складається з датчика осьового зусилля, датчика витрат і потужності, датчика механічної швидкості буріння, датчика тиску промивальної рідини, схеми порівняння та управляючий блок.

За критерій якості в цій системі прийнятий діапазон регулювання осьового зусилля, визначений через фізико-механічні властивості порід, що буряться, і типорозмірами породоруйнуючого інструменту, який забезпечує нормальну роботу різців при контакті з породою, тобто умови об'ємного руйнування.

Автори стверджують, що рівномірне осьове переміщення бурильної колони, тобто з постійною механічною швидкістю (або поглибленню за один оборот при заданій швидкості) покращує процес створення керна, а це, в свою чергу, збільшує механічну швидкість, проходку за рейс та стійкість алмазів, тобто ресурсу долота. Таким чином, за основу регулювання був прийнятий критерій постійності механічної швидкості буріння.

Автоматична зміна осьового зусилля виконується регулятором гідравлічної подачі. Система також містить у собі універсальний реєстратор параметрів процесу буріння «РУМБ-1», синхронно записуючий на одній стрічці шість параметрів: поточні величини осьового зусилля, механічної швидкості буріння, заданої швидкості буріння, тиску промивальної рідини, витрати потужності, заданої (гранично допустимої) величини потужності.

В системі діє зворотній зв'язок між каналом механічної швидкості буріння і осьового зусилля, забезпечуючи стабілізацію заданої швидкості.

Однак, дана система неодноразово піддавалась критиці:

- в ній не чітко сформульований критерій оптимізації;
- постійність механічної швидкості буріння не може бути критерієм регулювання;
- обґрунтування способу функціонування системи відсутнє;
- вибір уставки величини проходки на один оборот базується на знанні властивостей бурими порід, які не завжди відомі;
- вибір кутової швидкості обертання ПРІ взагалі ніяк не обґрунтований, а добуток двох, по суті випадкових величин, приймається за рівень механічної швидкості.

4) Узбекистан 2А

Одна з найбільш значних вітчизняних систем автоматизації процесу буріння є Узбекистан 2А, яка була створена в Методичній експедиції геолого-економічних досліджень. Система включає в себе: кабінку бурильника з розміщеним в ній обчислювально-управляючим комплексом, датчики технологічних параметрів і виконавчий механізм для керування важелем гальма лебідки. Система призначена для ведення в автоматичному режимі процесу буріння роторними і турбінними способами глибоких свердловин на нафту і газ серійними буровими установками з використанням шарошечних доліт. Систему обслуговує один оператор.

Обчислювально-керуючий комплекс складається з: обчислювального блока, виконаного на базі серійних мікро-ЕОМ «Електроніка С5-15», пульта

керування, пристрою зв'язку з об'єктом і оператором, стрічкового перфатора ПЛ-150 і системи живлення. Комплекс призначений для прийому та аналізу інформації про процес буріння за сигналами датчиків технологічних параметрів, а також для логічної та математичної обробки її в залежності з алгоритмами керування, формування інформаційних і управляючих сигналів та забезпечення всіх приладів системи електроживлення.

У відповідності до алгоритмів керування система виконує прироблення долота, пошук ефективного значення осьового навантаження на долото і підтримку її у процесі буріння. Якщо в якийсь момент часу система вирішить, що подальше буріння економічно не вигідне, то вона подасть сигнал закінчення рейсу і закінчить подачу бурильного інструменту. Окрім того, система забезпечує безаварійне буріння, заздалегідь визначаючи зношення шарошкового долота. Свідчення про хід процесу буріння і режимах роботи обладнання видаються бурильнику за допомогою стрілочних приборів, цифрової індикації, а також фіксуються на перфострічці, котра може документом для формування інформаційного банку, і служить контрольним документом, який об'єктивно представляє стан бурового інструменту і обладнання.

Система призначена для буріння свердловин глибиною 3500-4000 метрів та споживає потужності не більш ніж 0,5 кВт. Як показали результати промислових випробувань, застосування цієї системи дозволяє знизити зношення долота та знизити час буріння свердловини на 15-20% при забезпеченні повної безаварійності.

5) СВК-К-10А

Ця система автоматизованого керування процесом буріння була розроблена японською фірмою «Koken Boring Machine Co. LTD», яка розробляє бурові станки з комп'ютерним керуванням з 1979 року[10]. Система СВК-К-10А з програмним керуванням була розроблена у 1981 році. Ця модель являє собою малогабаритний гідравлічний станок з вмонтованою мікро-ЕОМ, яка призначена для геологічної зйомки і буріння цементованих свердловин глибиною до 100 м при будівництві дамб та гребель.

Розробники обґрунтовано вважають, що ефективність і безпека буріння значно залежать від кваліфікації оператора-бурильника. Тому мета розробки бурового станку з вмонтованою ЕОМ полягає у забезпеченні високої надійності, ефективності та безпеки праці при бурінні станком незалежно від кваліфікації бурильника. Також метою розробки було відкриття можливостей

автоматичного буріння станком свердловини заданої глибини в невідомих гірських геологічних умовах.

Система керування збирає інформацію за шістьма параметрами та відповідно заданої програми виконує оптимальне керування станком. Спеціалісти стверджують, що використання таких станків з програмним керуванням дозволило отримати великий економічний ефект.

б) Гідрофікована установка

Фірмою «Diamant Boart» була створена гідрофікована установка з рухомим обертачем і турбоутримувачем, в управлінні якою задіяний мікропроцесор [10]. За допомогою мікропроцесора координується функціонування елементів гідрокерування, виконуються розрахунки різних операцій і контролюються їх відповідність попередньо прийнятим завданням. При спускопідйомних операціях мікропроцесор синхронізує послідовність спрацьовування гідропатрон-обертача і турбоутримувача, переміщення вгору і вниз та контролює інтервали часу між проходженням послідовних сигналів.

Також функції системи можливо розширити: повне відтворення різноманітних програм, заздалегідь відпрацьованих експериментально; захист по максимальному крутному моменту при згвинчуванні і розгвинчуванні бурильних труб; обмеження по граничному осьовому зусиллі під час буріння, що підвищує надійність бурильної колони, та інше. Передбачаються реєстрація і обробка інформації про процес буріння, котра потім буде використана для інтерпретації цього процесу і геологічного розрізу.

1.3 Постановка задачі на розробку системи автоматичного керування процесом буріння свердловин

Задля реалізації системи автоматичного керування процесом буріння свердловин необхідно забезпечити можливість її оптимізації та збільшення ефективності і безпеки ведення бурильних робіт.

Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати огляд технологічних схем ведення бурильних робіт;
- проаналізувати технологічні показники існуючих рішень щодо побудови систем автоматичного керування процесом буріння;
- розробити функціональну і принципову схеми САК процесом буріння;
- розробити математичну модель САК процесом буріння;

– перевірити працездатність системи методом імітаційного моделювання динамічних процесів, що протікають у розробленій САК.

Висновки до розділу 1

1. Визначено основні терміни, зв'язаних з бурінням свердловин. Наведено детальну класифікацію свердловин за їх призначенням та метою, звідки з'ясувалось, що свердловини буряться не тільки для видобутку корисних копалин, а і для вивчення будови земляних пластів, підтримки міцності землі і ґрунту в цілях безпеки, а також побудови підземних споруд. З'ясовано, що буріння ділиться на групи за способом його проведення.

2. Розглянуто загальну схему будови бурової установки та її складові деталі і споруди. Описано загальний цикл будівництва свердловини, та етапи, на які він поділяється. Було розглянуто найбільш розповсюджений метод буріння, якому призначена дана робота, та його основні процеси. Описано групи, на які розподіляється долото за своїм типом та основні елементи долота.

3. Детально описано процес руйнування гірської породи при процесі буріння. Також описано основні режимні параметри, та що від них залежить.

4. Проаналізовано причини, за якими реалізація оптимального керування процесом буріння на даний час залишається проблемою. Виділено основні проблеми оптимізації процесу буріння. Розглянуто принцип дії деяких вітчизняних та зарубіжних систем автоматизації процесу буріння.

5. Встановлено, що принципи функціонування деяких з існуючих САК процесом буріння є мало обґрунтованими, а деякі системи досягають локального оптимуму, тому що не враховують всіх режимних параметрів процесу буріння.

6. На підставі проведених досліджень обґрунтовано мету і задачі розробки бакалаврської роботи.

2 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМ САК ПРОЦЕСОМ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН

2.1 Функціональна схема технічних засобів системи автоматичного керування процесом буріння

Для рішення поставленої задачі автоматичного керування бурової установки на підставі проведеного у першому розділі роботи аналізу технічної інформації було розроблено функціональну схему системи автоматичного керування, яку наведено на рис. 2.1.

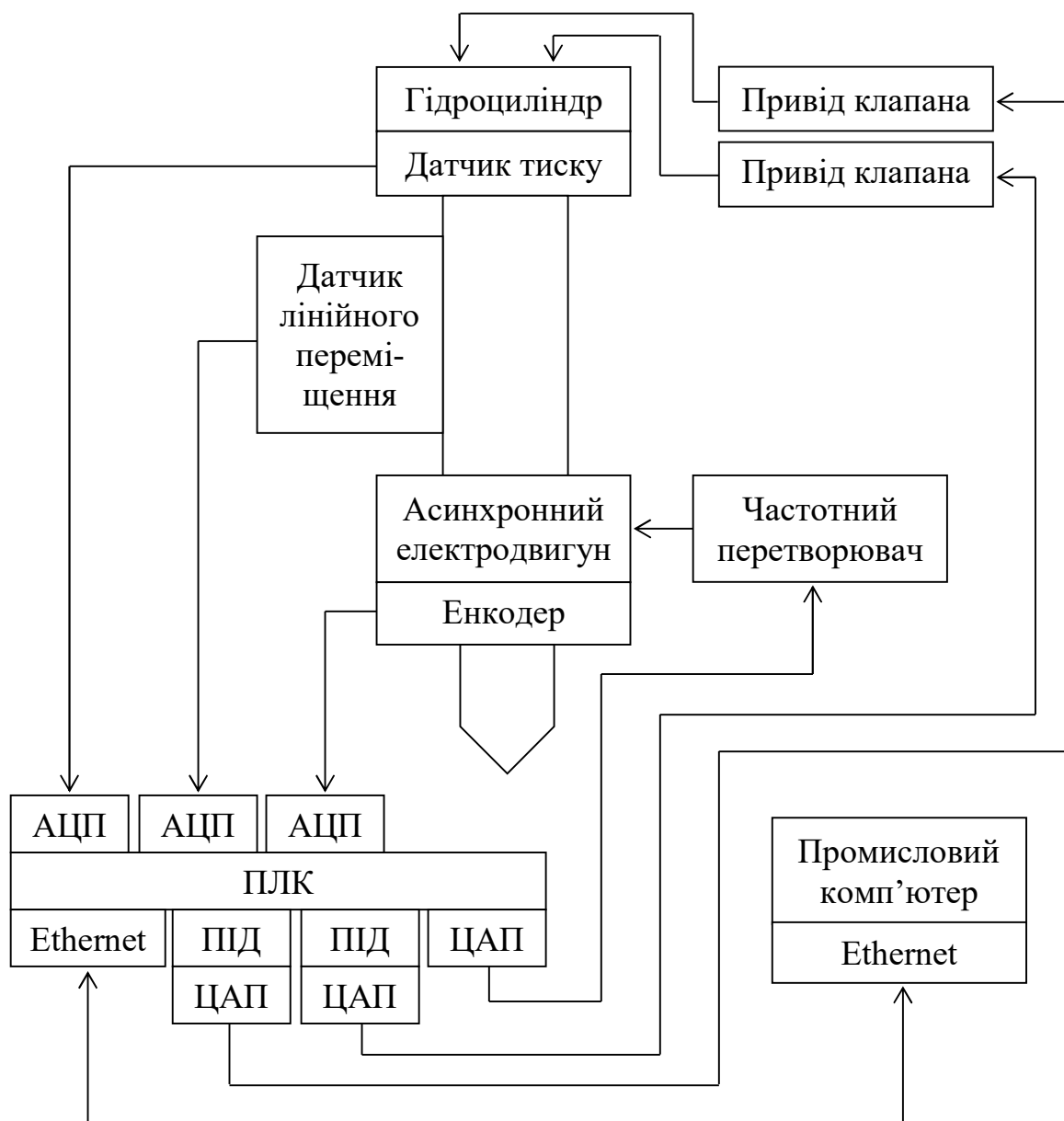


Рисунок 2.1 – Функціональна схема системи автоматичного керування процесом буріння

Система автоматичного керування повинна забезпечувати оптимальний режим роботи бурової установки за критерієм мінімуму енерговитрат при обмеженнях на продуктивність. Для досягнення цієї мети система повинна керувати двома величинами: осьовим зусиллям бурового інструменту P та кутовою швидкістю обертання породоруйнуючого інструменту ω . Пошук оптимальних значень цих режимних параметрів здійснюється за допомогою генетичного алгоритму. Алгоритм є досить складним, що робить його реалізацію на мікроконтролерній техніці або на програмованих логічних контролерах (ПЛК) неможливою. Тому в якості електронної обчислювальної машини для цього алгоритму обирається промисловий комп'ютер. Його потужності вистачить для швидкого обчислення генетичного алгоритму і реєстрації технологічних показників та параметрів. Також система на базі промислового комп'ютера буде володіти високою гнучкістю. Тобто, якщо потрібно буде змінити метод керування, критерій керування, або внести будь-які інші зміни, то це не викличе великих зусиль.

Щоб розрахувати оптимальні значення режимних параметрів P і ω , необхідно знати значення коефіцієнтів функції механічної швидкості буріння (3.5). Для їх визначення необхідно знати поточні значення режимних параметрів P і ω та механічної швидкості буріння V_0 . Для цього в системі будуть використовуватись три датчики: датчик тиску, необхідний для заміру осьового зусилля; енкодер, необхідний для заміру кутової швидкості обертання інструмента, що руйнує породу; датчик лінійних переміщень, необхідний для визначення механічної швидкості буріння.

Для керування тиском гідроциліндра використовуються два гідроклапани, які забезпечують подачу та відкачку гідравлічного масла з гідроциліндра. Щоб ними керувати необхідні два електроприводи.

Для керування асинхронним електродвигуном ротора необхідний частотний перетворювач, який буде керувати ним за допомогою векторного методу керування та усувати похибку керування за допомогою вбудованого ПІД-регулятора.

Для зняття показників з датчиків та передачі уставок для виконуючих механізмів в системі використовується програмований логічний контролер. Він зв'язаний з промисловим комп'ютером через мережу Ethernet. По сигналу комп'ютера показники з датчиків передаються контролером до комп'ютера, де відбуваються необхідні розрахунки. Далі комп'ютер передає оптимальні значення режимних параметрів P і ω до ПЛК. ПЛК розраховує керуючі сигнали

для двох гідроклапанів, щоб забезпечити необхідний тиск гідроциліндра, та необхідну частоту обертання асинхронного електродвигуна. Похибка керування гідроклапанами усувається за допомогою вбудованого в ПЛК цифрового ПІД-регулятора. Далі ПЛК передає уставки до гідроклапанів та частотного перетворювача, який в свою чергу керує асинхронним електродвигуном.

2.2 Обґрунтування вибору та розробка технічних засобів САК процесом буріння

2.2.1 Вибір датчика тиску

Задля отримання значення поточного тиску у гідроциліндрі, необхідно встановити датчик надлишкового тиску. Обираємо датчик SITRANSPDS III фірми Siemens. Його діапазон виміру від 0,01 бар до 400 бар відповідає діапазону зміни осьового зусилля в процесі буріння. Зовнішній вигляд датчика наведено на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд SITRANSPDS III

Технічні характеристики обраного типу датчика SITRANSPDS III приведено у таблиці 1 додатка А.

Електричну схему підключення датчика представлено на рисунку 2.3.

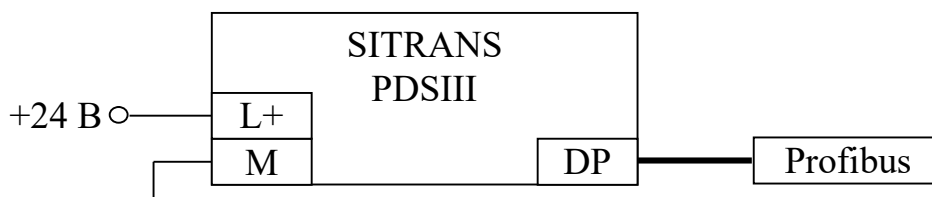


Рисунок 2.3 – Схема підключення SITRANSPDS III

2.2.2 Вибір датчика лінійного переміщення

Для визначення поточного значення пройденої бурильною колоною відстані та її швидкості доцільно використовувати магнітострикційний датчик лінійного переміщення, оскільки він забезпечує високу точність вимірювання. Датчик представляє собою шток певної довжини, на якому розташовується рухомий постійний магніт у вигляді кільця навколо штоку. Сам шток розташовується нерухомо відносно об'єкту, переміщення якого замірюється, а рухомий магніт приєднується до цього об'єкту. Датчик працює на основі ефекту магнітострикції – ефекту зміни форми або розміру тіл при намагніченні та розмагніченні їх. Шток датчика представляє собою хвилевід на основі феромагніта. В середині хвилеводу присутній мідний провідник, по якому з електронної частини сенсору посиляється короткий електричний імпульс. При переміщенні імпульсу створюється радіальне магнітне поле навколо хвилеводу. При перетині цим полем магнітного поля позиційного магніту з'являється, згідно з ефектом Відемана, пластична деформація магнітострикційного хвилеводу. Через це з'являється ультразвукова торсіонна хвиля, яка поширюється в обидва кінці хвилеводу. Детектування і обробка цієї хвилі відбувається в спеціальному перетворювачі торсіонних імпульсів, який являє собою полосу з магнітострикційного металу, детектуючої котушки індуктивності і одного нерухомого постійного магніту. В цьому перетворювачі ультразвукова хвиля викликає зміну намагніченості металічної полоси згідно з ефектом Віларі. Тимчасова зміна поля постійного магніту створює електричний струм в котушці індуктивності. Цей виникаючий електричний сигнал остаточно обробляється електронікою датчика. Точне визначення позиції виходить виміром часу між стартом токового імпульсу і часу виникнення відповідного електричного сигналу, що визначається в перетворювачі торсіонних імпульсів при детектуванні ультразвукової хвилі.

Обираємо датчик Temposonics RF фірми MTS Sensors. Він представляє собою гнучкий варіант магнітострикційного датчика лінійного переміщення з великою довжиною штоку (до 20 м). Основним критерієм для вибору була довжина штоку, тому що середня довжина бурильної секції лежить в діапазоні від 10 до 20 метрів. Крім відстані переміщення даний датчик може зразу показувати швидкість переміщення об'єкту, що дозволяє не реалізувати алгоритм розрахунку швидкості в ПЛК. Також в даному датчику присутній інтерфейс PROFIBUS, що облегшує підключення його до ПЛК. Зовнішній вигляд Temposonics RF приведено на рисунку 2.4:



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд Temposonics RF

Основні технічні характеристики датчика Temposonics RF наведено в таблиці 2 додатка А.

Електричну схему підключення вищевказаного датчика наведено на рисунку 2.5:

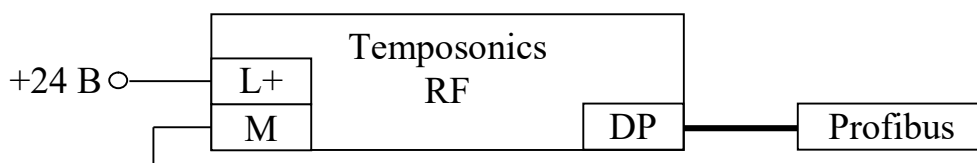


Рисунок 2.5 – Схема підключення Temposonics RF

2.2.3 Вибір енкодера

Для заміру частоти обертання асинхронного електродвигуна необхідно використовувати датчик кута повороту, також званий енкодер. Енкодер формує імпульси при обертанні об'єкту, по яким приймаючий прилад визначає поточне положення об'єкту шляхом підрахунку кількості імпульсів.

Обираємо абсолютний енкодер Simodrive Sensor with Profibus DP фірми Siemens, робоча частота якого є більшою від діапазону робочих частот ротора у процесі буріння. Як видно із назви, цей енкодер підключається до ПЛК за допомогою Profibus. Зовнішній вигляд енкодера представлено на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд SimodriveSensor

Технічні характеристики датчика Simodrive Sensor наведено в таблиці 3 додатка А.

Електричну схему підключення енкодера обраного типу представлено на рисунку 2.7.

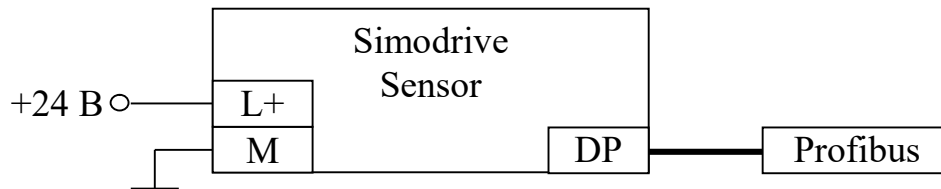


Рисунок 2.7 – Схема підключення Simodrive Sensor

2.2.4 Вибір приводів клапанів

Для керування клапанами гідроциліндра подавального пристрою необхідно застосовувати електропривода для гідроклапанів.

Обираємо SKD60 фірми Siemens. Його зовнішній вигляд представлено на рисунку 2.8:



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд SKD60

Технічні характеристики електричного приводу клапан типу SKD60 наведено в таблиці 4 додатка А.

Електричну схему підключення обраного типу електропривода представлено на рисунку 2.9.

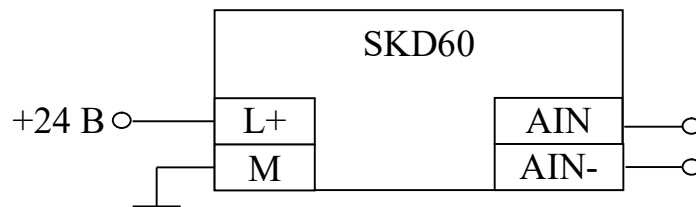


Рисунок 2.9 – Схема підключення SKD60

2.2.5 Вибір частотного перетворювача

Для керування швидкістю обертання асинхронного електродвигуна потрібен перетворювач частоти (частотний перетворювач). Частотний перетворювач – це прилад, який складається з випрямляча (міст постійного струму), перетворюючого змінний струм промислової частоти в постійний, та інвертора (перетворювача), перетворюючого постійний струм в змінний потрібної частоти і амплітуди. Необхідний струм для живлення електродвигуна забезпечують вихідні тиристори (GTO) або транзистори (IGBT). Основними методами керування є широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) та векторне керування. ШІМ – це імпульсний сигнал постійної частоти і змінної скважності, тобто відношення періоду прямування імпульсу до його довжини. За допомогою завдання скважності можна змінювати середню напругу на виході ШІМ. Векторне керування – це більш точне керування, яке не тільки формує гармонічні токи (або напруги) фаз (скалярне керування), але і забезпечує керування магнітним потоком ротора асинхронного електродвигуна.

В нашій системі присутній асинхронний електродвигун, який повинен мати високу потужність для руйнування порід. Тому для керування ним потрібно обрати частотний перетворювач високої потужності. Оберемо перетворювач частоти Simovert Master drives VC (6SE7031-0TE6) фірми Siemens. Цей перетворювач представляє собою перетворювач частоти з ланкою постійної напруги з повністю цифровим керуванням, вихідним каскадом на транзисторах (IGBT) та векторним методом керування. Цей частотний перетворювач може керуватись аналоговими сигналами 0...10 В, через послідовний інтерфейс RS232/RS485 або через Profibus. Зовнішній вигляд частотного перетворювача представлено на рисунку 2.10:



Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд Simovert Master drives VC

Технічні характеристики частотного перетворювача Simovert Master drives VC наведено в таблиці 5 додатка А.

Електричну схему підключення частотного перетворювача представлено на рисунку 2.11:

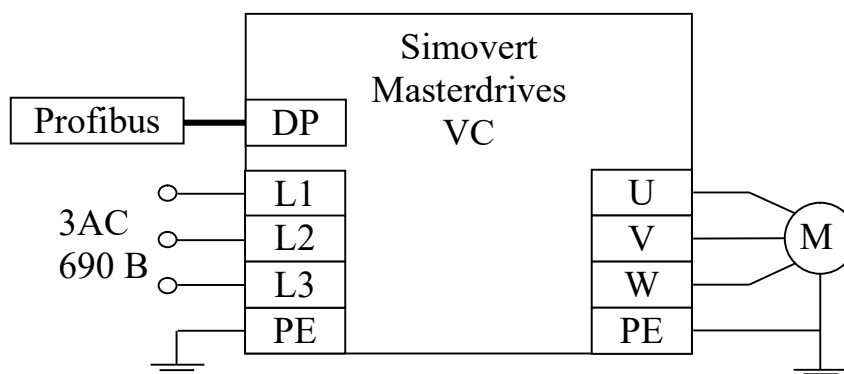


Рисунок 2.11 – Схема підключення Simovert Master drives VC

2.2.6 Вибір програмованого логічного контролера

Для забезпечення керування процесом буріння застосуємо промисловий ПЛК S7 фірми Siemens. Обираємо модель S7 CPU 315F-2 PN/DP (6ES7315-2FH13-0AB0). Даний процесор є процесором сімейства Fail-safe CPU. Технологія Fail-safe гарантує функціональну безпеку роботи процесора, що збільшує надійність системи, що проектується. Також у цьому процесорі вже інтегровані інтерфейси PROFINET та PROFIBUS для комунікації з промисловим комп'ютером, частотним перетворювачем, датчиком тиску,

датчиком лінійного переміщення та енкодером. Зовнішній вигляд ПЛК S7 CPU 315F-2 PN/DP представлений на рисунку 2.12:



Рисунок 2.12 – Зовнішній вигляд S7 CPU 315F-2 PN/DP

Технічні характеристики S7 CPU 315F-2 PN/DP приведено в таблиці 6 додатка А.

Електричну схему підключення S7 CPU 315F-2 PN/DP представлено на рисунку 2.13.

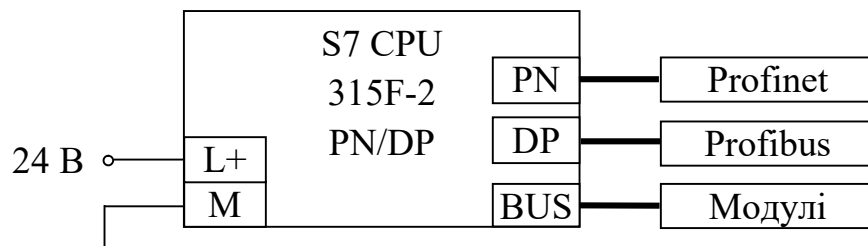


Рисунок 2.13 – Схема підключення S7 CPU 315F-2 PN/DP

Для забезпечення роботи ПЛК необхідно використовувати блок живлення, який забезпечує напругу живлення 24 В постійного струму з вихідним струмом, не менше 2 А.

Оберемо блок живлення Siemens PS 307 2A (6ES7307-1BA00-0AA0). Зовнішній вигляд пристрою представлений на рисунку 2.14.



Рисунок 2.14 – Зовнішній вигляд PS 307 2A

Технічні характеристики PS 307 2A приведено у таблиці 7 додатка А.

Електричну схему підключення PS 307 2A представлено на рисунку 2.15

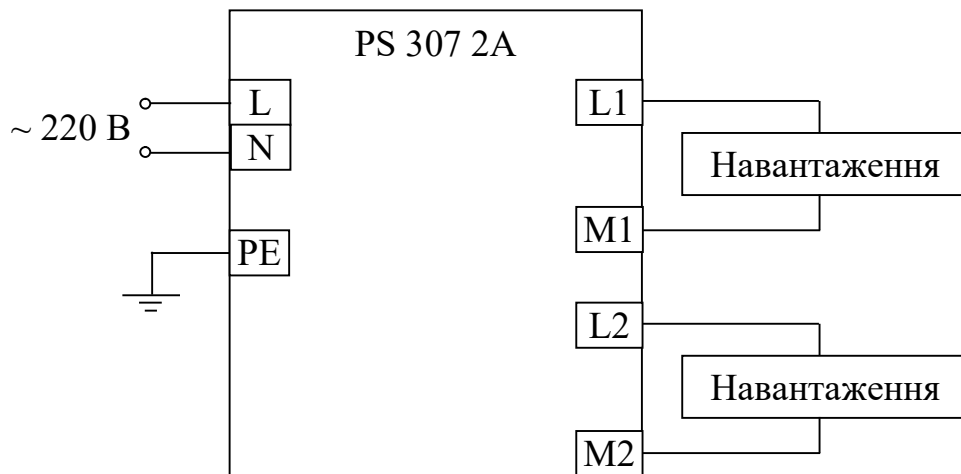


Рисунок 2.15 – Схема підключення PS 307 2A

Для керування двома електроприводами гідроклапанів нам необхідно мати два аналогових виходи. Для цього доповнимо ПЛК сигнальним модулем SM332 (6ES7332-5HB01-0AB0), який обладнаний двома аналоговими виходами. Зовнішній вигляд модуля представлено на рисунку 2.16:



Рисунок 2.16 – Зовнішній вигляд SM332

Основні технічні характеристики SM332 приведено в табл.. 8 додатка А.

Електричну схему підключення сигнального модуля за напругою представлено на рисунку 2.17.

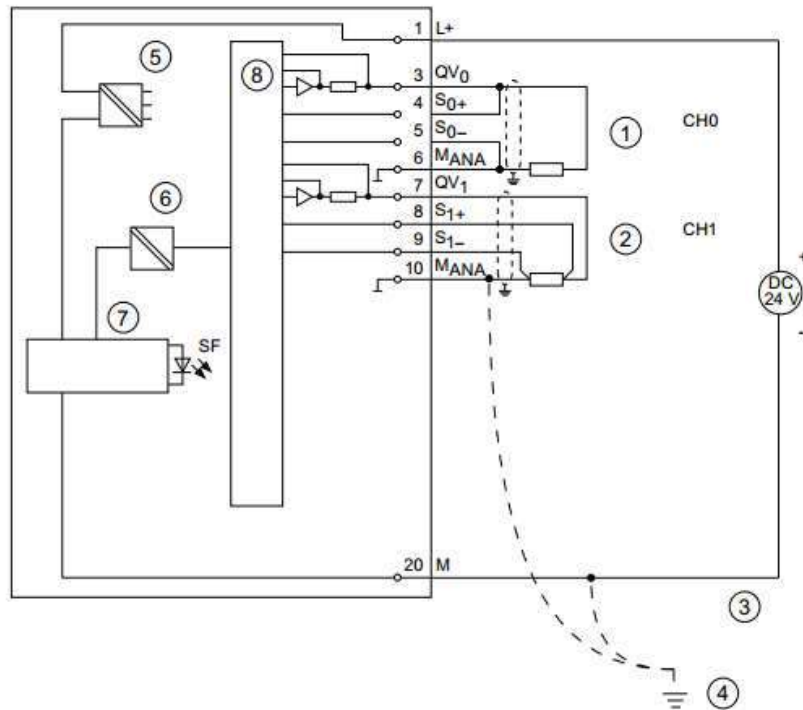


Рисунок 2.17 – Схема підключення SM332 по напрузі

Схема підключення сигнального модуля за струмом представлено на рисунку 2.18.

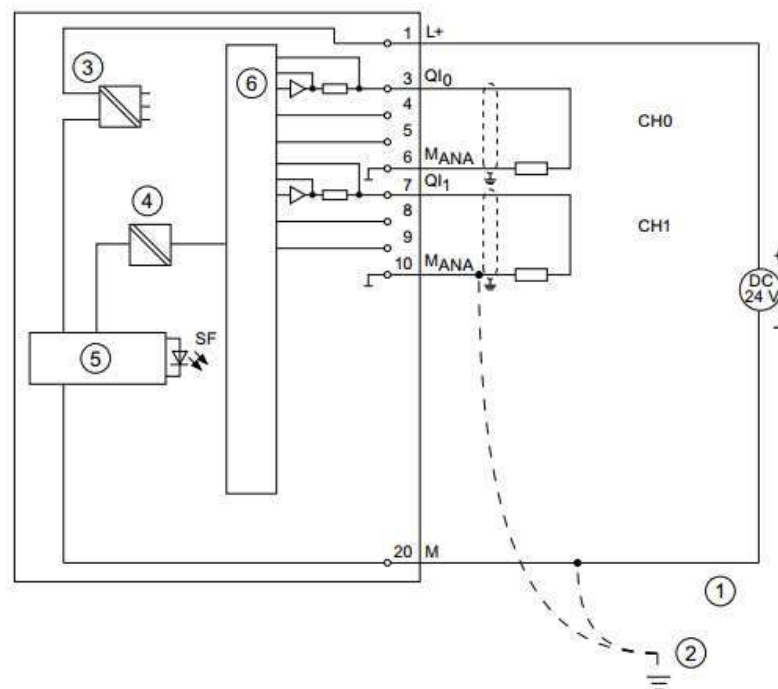


Рисунок 2.18 – Схема підключення SM332 по струму

2.2.7 Вибір промислового комп'ютера

Для пошуку оптимальних режимних параметрів використовується генетичний алгоритм, який потребує досить потужної ЕОМ. Крім того,

електрона обчислювальна машина має бути високонадійною і мати високий показник відмовостійкості. В ролі такої ЕОМ обираємо серверне обладнання на базі процесора Intel Xeon.

У якості процесора обираємо Intel Xeon Processor E3-1290V2. Це високонадійний на потужній широкозастосовуваний у світі процесор. Даний процесор володіє технологією Turbo Boost, що дозволяє йому у разі нехватки потужності тимчасово збільшити тактову частоту. Також в ньому вбудований внутрішній кристалічний цифровий термодатчик, який вимірює температуру ядра процесора, а служби керування температурним режимом у разі потреби зменшують енергоспоживання корпусом процесора, тим самим зменшуючи температуру, для забезпечення роботи в рамках нормальних експлуатаційних характеристик. Зовнішній вигляд процесора представлений на рисунку 2.19:



Рисунок 2.19 – Зовнішній вигляд процесора IntelXeon E3-1290V2

Технічні характеристики процесора IntelXeon E3-1290V2 приведені у таблиці 9 додатка А.

В якості материнської плати обираємо Intel Server Board S1200BTL. Її зовнішній вигляд представлено на рисунку 2.20.



Рисунок 2.20 – Зовнішній вигляд Intel Server Board S1200BTL

Основні технічні характеристики Intel Server Board S1200BTL приведено в таблиці 10 додатка А.

В якості оперативної пам'яті обираємо Corsair PC3-12800. Це комплект з двох планок по 4 ГБ. Зовнішній вигляд оперативної пам'яті приведено на рисунку 2.21.



Рисунок 2.21 – Зовнішній вигляд Corsair PC3-12800

Основні технічні характеристики планок приведено в табл.. 11 додатка А.

В якості жорсткого диска обираємо Western Digital Veloci Raptor. Його зовнішній вигляд приведено на рисунку 2.22:



Рисунок 2.22 – Зовнішній вигляд Western Digital Veloci Raptor

Технічні характеристики обраного пристрою наведено в таблиці 12 додатка А.

В якості корпусу обираємо корпус E-server 3U S. Його зовнішній вигляд приведено на рисунку 2.23.



Рисунок 2.23 – Зовнішній вигляд корпусу E-server 3U S

Основні технічні характеристики E-server 3U S приведено в таблиці 13 додатка А.

Для зв'язку комп'ютера з ПЛК необхідна мережева плата Profinet для комп'ютерів. У якості такої обираємо плату CP1623 фірми Siemens. Її зовнішній вигляд представлено на рисунку 2.24:



Рисунок 2.24 – Зовнішній вигляд CP1623

Основні технічні характеристики CP1623 приведено в таблиці 2.14 додатка А.

2.3 Алгоритми програм системи автоматичного керування процесом буріння

Оскільки у системі присутні дві електронні обчислювальні машини, то було розроблено два алгоритми програм: для ПЛК та для промислового комп'ютера. Блок-схеми цих алгоритмів представлено на рисунках 2.25 та 2.26.

При запуску програми промислового комп'ютера необхідно ввести допустимі режимні параметри $P_{\text{доп}}$, $\omega_{\text{доп}}$ та обмеження на продуктивність V_{min} . Далі розпочинається основний цикл роботи програми. Програма відсилає до ПЛК сигнал отримання поточних режимних параметрів. На їх основі відбувається розрахунок коефіцієнтів функції механічної швидкості буріння. Блок-схема алгоритму розрахунків коефіцієнтів представлена на рисунку 2.27. Далі відбувається розрахунок оптимальних значень режимних параметрів $P_{\text{опт}}$ та $\omega_{\text{опт}}$ за допомогою генетичного алгоритму. Після закінчення розрахунків отримані значення передаються до ПЛК. Якщо отримали сигнал виключення системи автоматичного керування, то до ПЛК передаються нульові значення режимних параметрів для відключення виконавчих механізмів та програма завершується. На початку кожного циклу програма очікує сигналу з комп'ютера. Далі перевіряється тип отриманого сигналу. Якщо це сигнал зчитування режимних параметрів, то програма опитує датчик тиску, датчик лінійного переміщення та енкодер. Якщо отриманий сигнал – це сигнал передачі оптимальних режимних параметрів, то програма виконує наступні дії: на основі значення оптимального осьового навантаження розраховуються і передаються уставки електроприводів гідроклапанів; на основі значення кутової швидкості обертання ротора розраховується частота обертання електродвигуна та передається до частотного перетворювача.

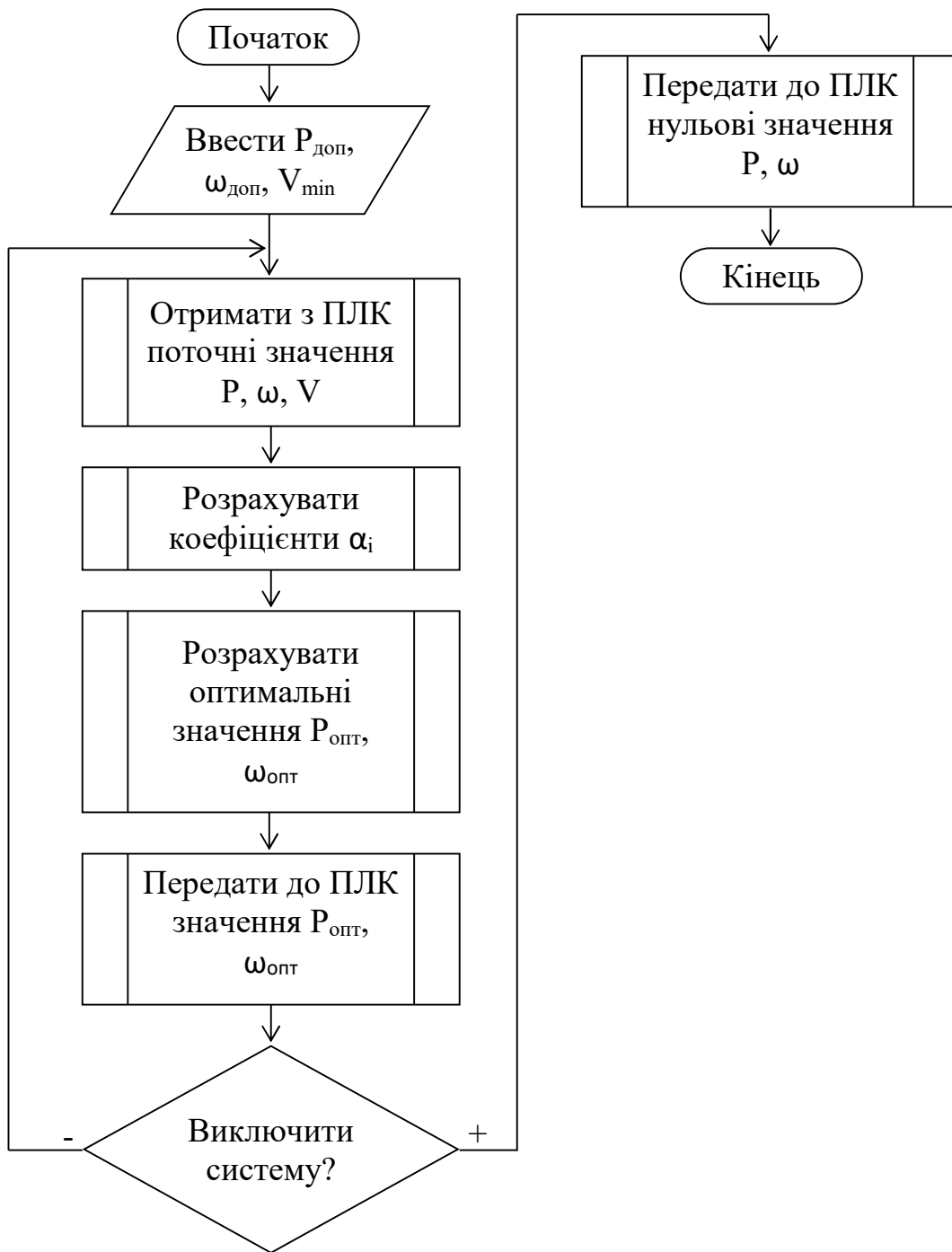


Рисунок 2.25 – Алгоритм програми промислового комп'ютера

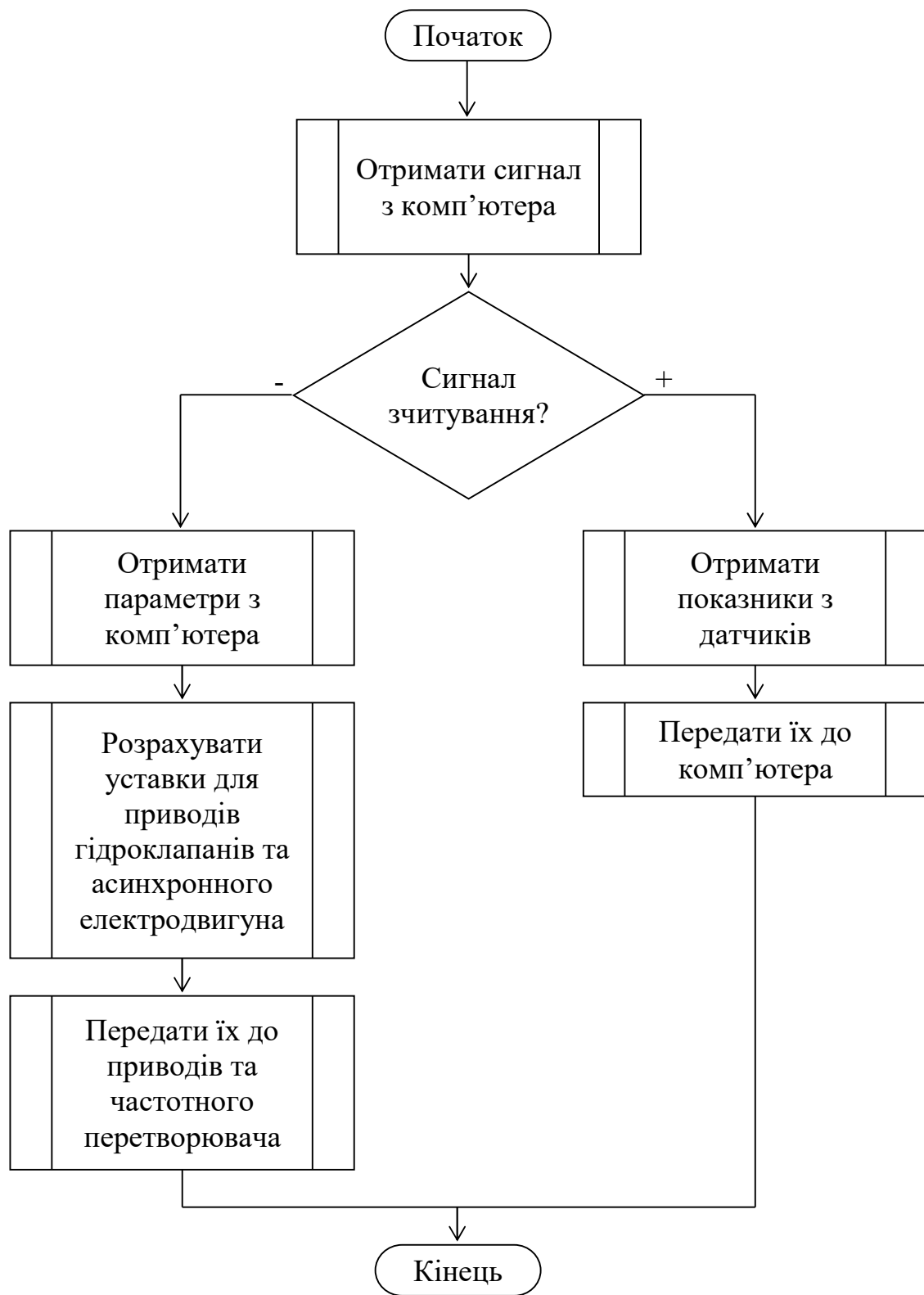


Рисунок 2.26 – Алгоритм програми ПЛК

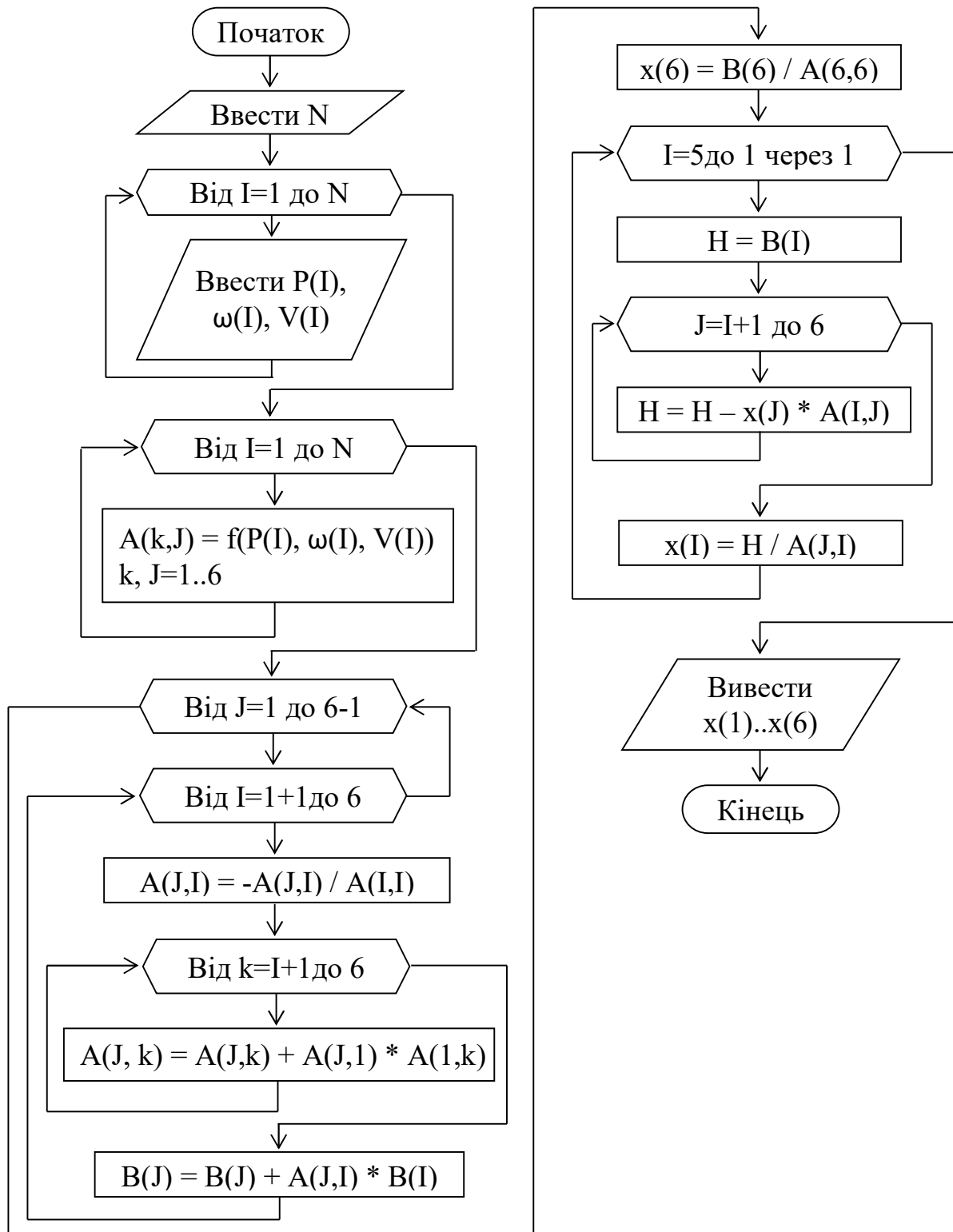


Рисунок 2.27 – Алгоритм обчислення коефіцієнтів функції

Висновки до розділу 2

1. У даному розділі було розроблено функціональну схему системи автоматичного керування процесом буріння на основі попередніх теоретичних досліджень. Система складається з таких основних блоків: виконавчих механізмів (гідроциліндр, привода гідроклапанів, асинхронний електродвигун, частотний перетворювач), датчиків (датчик тиску, датчик лінійного переміщення, енкодер) та електронної обчислювальної техніки (ПЛК, промисловий комп'ютер).

2. Обрано технічні засоби САК, на основі яких її можна реалізувати на практиці. Перевагу у виборі техніки було віддано техніці фірми Siemens, як найбільш популярній та добре зарекомендованій фірмі у світі. Також було розроблено алгоритми програм системи автоматичного керування та блок-схеми даних алгоритмів.

3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ САК ПРОЦЕСУ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН

3.1 Обґрунтування загального вигляду математичної моделі процесу буріння глибоких свердловин

Основою для оптимізації того чи іншого показника процесу буріння геологорозвідувальних свердловин є математична модель, що виражає залежність цього показника від режимних параметрів та часу чистого буріння. Математичну модель процесу буріння можна використовувати для раціонального відпрацювання інструмента, що руйнує породу, тільки в тому випадку, якщо вона адекватна, несуперечлива й описує об'єкт керування з достатньою для практики бурових робіт точністю. Якщо математична модель містить несумісні або вельми наближені залежності, то похибка може бути виявлена вже при спробі реалізувати який-небудь критерій оптимізації в загальному виді при підстановці численних значень параметрів режиму буріння і коефіцієнтів у вихідні рівняння. Така математична модель буде принципово невірною і її практичне використання неможливе. В тому випадку, коли математична модель недостатньо точно відображає об'єкт керування, в процесі її реалізації будуть отримані параметри процесу буріння, які значно відрізняються від оптимальних рівнянь і не забезпечують задані техніко-економічні показники бурових робіт. Крім того, можуть бути отримані і такі значення режимних параметрів, які виходять з області їх допустимих значень.

На теперішній час існує велика кількість математичних моделей процесу буріння. Вибір із них найбільш підходящої для конкретних умов є першочерговою задачею, що розв'язується при оптимізації процесу буріння геологорозвідувальних свердловин.

Під математичною моделлю процесу буріння розуміють сукупність залежностей основних показників від режимних параметрів, властивостей порід, що буряться, і часу чистого буріння. Неврахування впливу того чи іншого параметру на показники процесу буріння приводить до того, що математична модель, що використовується, виявляється суперечливою або неадекватно відображає процес відпрацювання руйнуючого інструмента.

На основі теоретичних досліджень такими вченими як Макаров Л.В., Троп В.А. та Ситніков М.Б. була отримана математична модель процесу буріння загального виду [11–14]:

$$\begin{cases} V_0 = V_0(P, \omega, Q, \alpha_i); \\ V(t) = V_0 \cdot \varphi; \\ \varphi = \frac{\partial \Psi}{\partial t}; \\ \Psi = \Psi(P, \omega, Q, \alpha_i); \\ h(t) = V_0 \cdot \Psi, \end{cases} \quad (3.1)$$

де V_0 – механічна швидкість буріння не затупленим ПРІ, м/год; P – осьове зусилля на забій свердловини, Н; ω – кутова швидкість обертання ПРІ, рад/с; Q – кількість промивної рідини, що закачується в свердловину, літ/хв; α_i – властивості породи (буримість, міцність, тріщинуватість, та ін.); $V(t)$ – поточне значення механічної швидкості буріння, м/год; φ – інтенсивність функції зношування, відн. од.; Ψ – функція зношування, год; $h(t)$ – поточне значення проходки, м.

Основні технологічні показники процесу буріння визначаються наступною системою рівнянь:

$$\begin{cases} V_p = F_1(h, V_0, K, t); \\ q = F_2(h, V_0, K, t); \\ \delta = 2\pi \frac{V}{\omega}; \\ a_u = \frac{m_u}{h}; \\ b = D \cdot P \cdot \omega \cdot \frac{1}{V_0}; \\ K = K(P, \omega, Q, \beta_i), \end{cases} \quad (3.2)$$

де V_p – рейсова швидкість буріння, м/год; K – коефіцієнт зношування; δ – проходка на один оберт ПРІ, мм/об; a_u – питома витрата матеріалів, кар/м; m_u – витрата матеріалів, що стираються, кар; b – питома витрата енергії, Дж/м; D – емпіричний коефіцієнт; β_i – зносостійкість підшипників опір долота.

Обмеження, що накладаються накладені на процес буріння:

$$\begin{cases} P_{min} \leq P \leq P_{доп}; \\ \omega_{min} \leq \omega \leq \omega_{доп}; \\ Q > Q_{min}; \\ h < h_k; \\ t \leq T_0(P, \omega, \beta_i, \gamma_i); \\ \Delta(P, \omega, \gamma) < \Delta_{доп}, \end{cases} \quad (3.3)$$

де $P_{min}, P_{доп}$ – мінімально і максимально допустимі значення осьового зусилля на опору долота або матрицю коронки, Н; $\omega_{min}, \omega_{доп}$ – мінімально й максимально допустимі значення кутової швидкості обертання ПРІ, рад/с; Q_{min} – мінімальне допустиме значення промивальної рідини (за умовами очистки забою свердловини і охолодження ПРІ), літ/хв; h_k – довжина колонкового набору, м; T_0 – час відпрацювання ПРІ; γ_i – абразивні властивості породи; Δ – величина фізичного зношування (по діаметру або висоті алмазомісткого слою матриці або твердого сплаву), мм; $\Delta_{доп}$ – величина допустимого фізичного зношування, мм.

Запропонована математична модель процесу буріння свердловин, що має загальний вигляд (3.1) дозволяє досліджувати будь-яку часткову модель процесу буріння на адекватність і несуперечливість, а також отримати необхідні й достатні умови екстремуму того чи іншого показника процесу буріння та оптимальні (за необхідним показником) значення режимних технологічних параметрів.

3.2 Визначення залежності механічної швидкості буріння від режимних параметрів

Необхідним етапом при вирішенні проблеми оптимального керування процесом буріння є вибір математичної моделі, що адекватно описує поведінку механічної швидкості буріння в області допустимих змін значень режимних параметрів P і ω . Механічна швидкість є одним із основних показників процесу буріння, який найбільш часто використовується для оцінки ефективності проходки геологорозвідувальних свердловин внаслідок того, що вона може бути легко змінена, володіє наочністю, визначає змінну продуктивність бурового станка, і є основним показником, який впливає на значення проходки, рейсової швидкості і вартості буріння одного метра свердловини. Крім того, вона часто використовується в системах автоматичного керування як показник при оптимізації процесу буріння на максимум механічної швидкості. Тому точність апроксимації механічної швидкості в площині режимних параметрів P і ω визначає точність всієї математичної моделі процесу буріння. В області допустимих значень режимних параметрів P і ω функція механічної швидкості буріння не затупленим ПРІ може бути розкладена в ряд Тейлора:

$$V_0(P, \omega) = V(P_0, \omega_0) + \frac{\partial V}{\partial P}(P - P_0) + \frac{\partial V}{\partial \omega}(\omega - \omega_0) + \frac{\partial^2 V}{\partial P \partial \omega}(P - P_0)(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 V}{\partial P^2}(P - P_0)^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 V}{\partial \omega^2}(\omega - \omega_0)^2 + \dots, \quad (3.4)$$

де $V_0(P, \omega)$ – залежність механічної швидкості буріння не затупленим ПРІ від режимних параметрів; P_0, ω_0 – значення режимних параметрів поблизу яких відбувається апроксимація.

Обмежившись шістьма членами розкладення отримаємо рівняння апроксимуючої функції для швидкості буріння [15]:

$$V_0(P, \omega) = \alpha_0 + 2\alpha_1 P + 2\alpha_2 \omega + 2\alpha_3 P\omega + \alpha_4 P^2 + \alpha_5 \omega^2, \quad (3.5)$$

де $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_5$ – емпіричні коефіцієнти, що залежать від фізичних властивостей породи, що буриться, і породоруйнуючого інструмента.

Розкладення функції $V_0(P, \omega)$ в ряд Тейлора (3.4) з достатньою для практичних цілей точністю може бути здійснене, якщо за точку апроксимації прийняти базове значення технологічних параметрів [16]. Коефіцієнти рівняння (3.5) можуть змінюватись в процесі буріння непередбаченим чином, тобто характеристика станка схильна випадковому «дрейфу» в площині режимних параметрів P і ω , а також по вертикалі.

Графік функції (3.5) представлений на рисунку 3.1. Як видно з графіку, функція є не випуклою та гладкою. Зверху графіка явно проглядається глобальний максимум функції, що означає, що оптимізація за критерієм максимуму механічної швидкості буріння можлива. Також необхідно відмітити, що при збільшенні осьового зусилля та кутової швидкості обертання ротора ми не отримаємо збільшення механічної швидкості буріння, а навпаки з досягненням певних режимних параметрів її значення почне зменшуватись.

Визначення коефіцієнтів рівняння (3.5) проводиться за методом найменших квадратів, згідно з яким сума квадратів відхилень результатів експерименту від апроксимованих значень механічної швидкості має бути мінімальною:

$$F = \sum_{k=1}^n (V_k - V(\alpha_i))^2 \rightarrow \min. \quad (3.6)$$

Взявши від F часткові похідні по кожному з коефіцієнтів α_i отримаємо систему нормальних рівнянь з шістьма невідомими:

$$\frac{\partial F}{\partial \alpha_i} = 0 \Rightarrow \sum_{k=1}^n V(\alpha_i) \frac{\partial V(\alpha_i)}{\partial \alpha_i} = \sum_{k=1}^n V_k \frac{\partial V(\alpha_i)}{\partial \alpha_i}, \quad (3.7)$$

де V_k – виміряне значення механічної швидкості буріння при значеннях режимних параметрів P_k і ω_k ; $V(\alpha_i)$ – обчислене значення механічної швидкості буріння по виразу (3.5) при значеннях режимних параметрів P_k і ω_k .

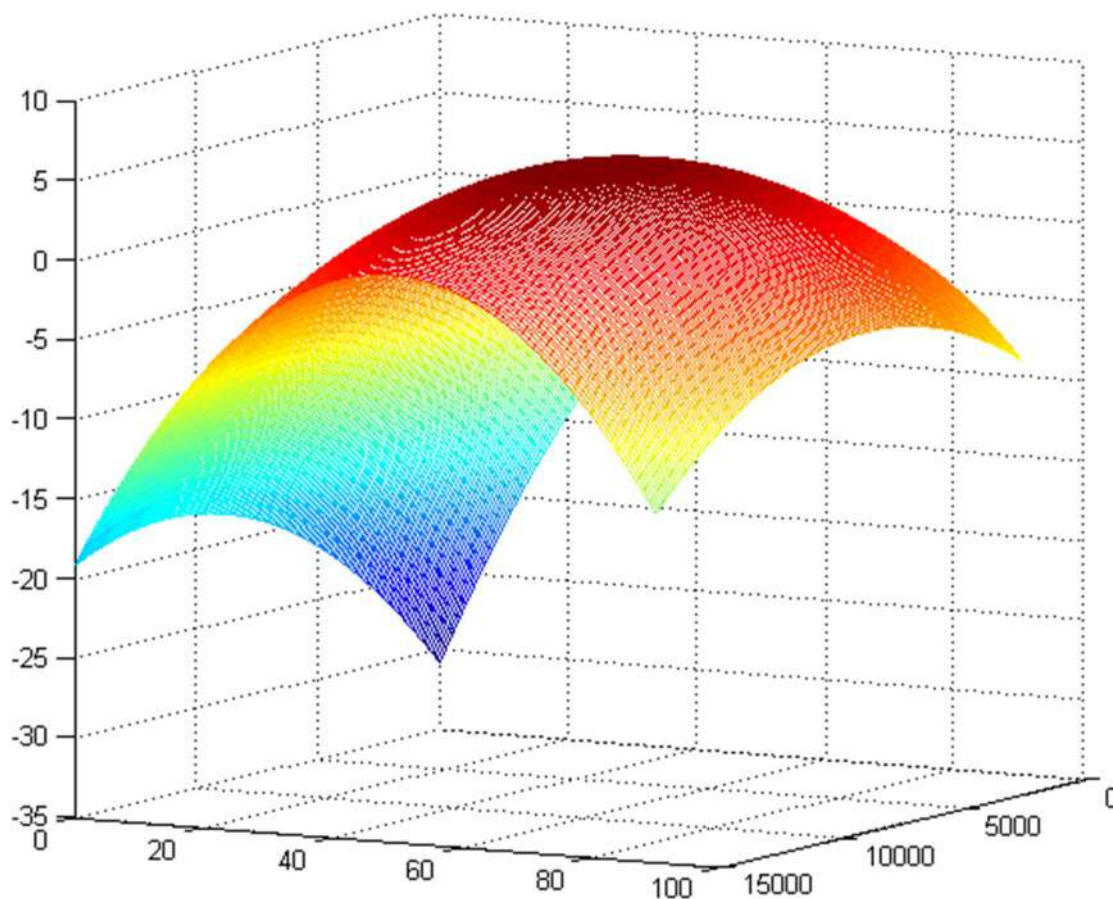


Рисунок 3.1 – Графік функції механічної швидкості буріння

Розв’язок системи (3.7) не викликає принципових утруднень, а використання електронної обчислювальної техніки значно зменшує трудомісткість обчислювання сум при коефіцієнтах α_i . Система (3.7) розв’язується в наступній послідовності: завантаживши в масиви поточні значення P_i , ω_i , V_i , які відповідають точкам поверхні (3.5), і організувавши цикл від $i = 1$ до N , де N – кількість точок, ми отримаємо коефіцієнти матриці при невідомих α_i . Далі система рівнянь розв’язується одним з відомих методів, наприклад, методом Гауса (метод послідовного виключення змінних). Блок-схема алгоритму для розв’язку цієї системи приведена в на рис. 2.27. Алгоритм ґрунтується на приведені матриці до трикутного вигляду при прямому ході виключення змінних. Потім організовується цикл зворотного ходу для

визначення значень α_i . Вхідний код скрипка для виконання необхідних розрахунків наведено нижче:

```
function y = V(x)
global a;

    y = a(1) + 2*a(2)*x(1) + 2*a(3)*x(2) + 2*a(4)*x(1)*x(2) +
a(5)*x(1)^2 + a(6)*x(2)^2;
end

function y = b(x)
global D;

    y = D * x(1) * x(2) / V(x);
end

function [c, ceq] = constraint(x)
global Vmin;

    c = [Vmin - V(x)];
    ceq = [];
end

global a;
global D;
global Vmin;

a = [
    -30.76;           % a0
    1.18 * 10^-3;     % a1
    0.49;             % a2
    -5.8 * 10^-6;     % a3
    -1.06 * 10^-7;    % a4
    -8.2 * 10^-3      % a5
];
D = 1;
Pdop = 9000;
wdop = 80;
Vmin = 3.5;
ObjectiveFunction = @b;
ConstraintFunction = @constraint;
nvars = 2;
LB = [0 0];
UB = [Pdopwdop];
[xopt, bopt] = ga(ObjectiveFunction, nvars, [], [], [], [], LB,
UB, ConstraintFunction)
Vopt = V(xopt)
```

В таблиці 3.1 приведені результати розрахунків коефіцієнтів рівняння (3.5) за експериментальними даними, які отримані при бурінні гранітудрібноалмазною коронкою діаметром 59 мм, по шести, восьми та десяти

точках вимірювання. Як видно з цієї таблиці, результати розрахунків коефіцієнтів по десяти точках повністю співпадають з даними, що визначають систему «коронка – порода». Крім того, очевидно, що значення коефіцієнтів, розрахованих по восьми точках вимірювання досить задовільно співпадають з вихідними даними, тобто визначення коефіцієнтів можна проводити і по восьми точках також. При обчисленні коефіцієнтів по шести точкам найбільша похибка склала 6%. Така точність допустима для оперативної оцінки властивостей порід, що буряться.

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнтів апроксимуючої функції

Коефіцієнт	Система «коронка – порода»	6 точок	8 точок	10 точок
α_0	-30,76	-30,202	-30,752	-30,76
α_1	$1,18 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,18 \cdot 10^{-3}$	$1,18 \cdot 10^{-3}$
α_2	0,49	0,475	0,4898	0,49
α_3	$-5,8 \cdot 10^{-6}$	$-6,4 \cdot 10^{-6}$	$-5,789 \cdot 10^{-6}$	$-5,8 \cdot 10^{-6}$
α_4	$-1,06 \cdot 10^{-7}$	$-1,05 \cdot 10^{-7}$	$-1,06 \cdot 10^{-7}$	$-1,06 \cdot 10^{-7}$
α_5	$-8,2 \cdot 10^{-3}$	$-7,73 \cdot 10^{-3}$	$-8,197 \cdot 10^{-3}$	$-8,2 \cdot 10^{-3}$

Висновки до розділу 3

1. У даному розділі визначено основні напрямки дослідження розроблюваної САК процесу буріння математичного моделювання, її значення та ймовірні наслідки, якщо вона описана неправильно. Приведено математичну модель процесу буріння загального вигляду та описано її складові частини.

2. Визначено основні показники процесу буріння та вказано обмеження, які на нього накладаються. Встановлено, що основним із показників процесу буріння є механічна швидкість буріння, яка показує ефективність всього процесу буріння та впливає на значення проходки, рейсової швидкості і вартості буріння одного метра свердловини.

3. Отримано рівняння апроксимуючої функції. З графіку цієї функції видно, що вона є не випуклою та має глобальним мінімум, а тому можлива оптимізація її за критерієм максимуму механічної швидкості. Також встановлено, що при збільшенні режимних параметрів P і ω величина механічної швидкості не завжди є зростаючою, а навпаки при досягненні деякої точки починає зменшуватись.

4. На підставі використання методу найменших квадратів було розраховано невідомі коефіцієнти функції механічної швидкості та розроблено блок-схему цього алгоритму для обчислення на ЕОМ.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА ПІДПРИЄМСТВІ

4.1 Характеристика умов праці науково-дослідного відділу підприємства

Робочим приміщенням, у якому розташовано науково-дослідний відділ, є кімната розмірами 6 метрів на 3,5 метрів. У приміщенні розташовані 1 комп'ютер потужністю 0,5 кВт/год., 1 монітор потужністю 0,1 кВт/год., 1 ноутбук потужністю 0,07 кВт/год., 2 принтери потужністю 0,4 кВт/год., генератор сигналів потужністю 0,06 кВт/год., осцилограф потужністю 0,05 кВт/год., паяльна станція потужністю 0,6 кВт/год., 4 лабораторні блоки живлення потужністю 0,15 кВт/год., 1 кондиціонер потужністю 3,5 кВт/год.

Приміщення знаходиться на 6-ому поверсі адміністративного будинку цегельної будівлі та за своїх характеристикам цілком відповідає вимогам СІ І і П 2.09.04 – 87 «Адміністративні і побутові будинки виробничих підприємств», а також СП 512 – 78 «Інструкція з проектування будинків і приміщень ЕОМ».

Основними шкідливими факторами, зв'язаними з роботою на ПК є:

- напруга зорових органів та пов'язане з цим стомлення, захворювання і побічні ефекти;
- значне навантаження на пальці та кисті рук, що при відсутності профілактики та медичного контролю можуть викликати професійні захворювання;
- тривале перебування в одній і тій самій позі, що викликає застійні явища в організмі, та може сприяти різним захворюванням;
- випромінювання різного виду при використанні відеомоніторів на електронно-променевих грубках (м'яке рентгенівське випромінювання, ультрафіолетове випромінювання, видиме випромінювання, інфрачервоне випромінювання, низько і високочастотне електромагнітне випромінювання, електростатичні полюси);
- механічні шуми, що пов'язані з роботою електронно-механічного друкуючого пристрою (принтера), вентиляторів системи охолодження, приводів читання CD-дисків та вібрація; іонізація повітря;
- наявність шкідливих хімічних речовин.

Дослідження науково-дослідного інституту гігієни праці і профзахворювань вказали на зміни у функціональному стані зорового

аналізатора в ході виробничої діяльності фахівців, що працюють з відеотерміналами, наприкінці 4 години роботи.

Професійні захворювання при роботі з персональним комп'ютером:

- комп'ютерний зоровий синдром. Вплив роботи з монітором зазвичай залежить від віку користувача, від стану зору, а також від інтенсивності роботи з дисплеєм та організації робочого місця. В результаті тривалої роботи дуже великий ризик появи, або прогресивності вже наявної, короткозорості.

- проблеми, що пов'язані з м'язами і суглобами. Нерухома напружена поза оператора, протягом тривалого часу прикутого до екрану монітора, призводить до втоми і виникнення болю в хребті, шийі, плечових суглобах, а також розвивається м'язова слабкість і відбувається зміна форми хребта. Інтенсивна робота з клавіатурою викликає больові відчуття в ліктьових суглобах, передпліччях, зап'ястях, в кистях і пальцях рук. Зазвичай присутні скарги на оніміння шийі, біль у плечах і попереку або поколювання в ногах. Але бувають, проте, і більш серйозні захворювання. Найбільш поширений кистьовий тунельний синдром, при якому нерви руки пошкоджуються внаслідок частой і тривалої роботи на комп'ютері. У найбільш важкій формі цей синдром проявляється у вигляді болісних відчуттів, що позбавляють людину працездатності.

- синдром комп'ютерного стресу. Постійні користувачі ПК зазвичай піддаються психологічним стресам, функціональних порушень центральної нервової системи, хвороб серцево-судинної системи.

- вплив на імунну систему. При впливі електро-магнітного випромінювання (ЕМВ) порушуються процеси імуногенезу, опромінених ЕМВ, змінюється характер інфекційного процесу – протягом інфекційного процесу обтяжується. ЕМВ можуть сприяти неспецифічному пригнічення імуногенезу, посилення утворення антитіл до тканин плоду і стимуляції аутоімунної реакції в організмі вагітної самки.

- вплив на ендокринну систему і нейрогуморальну реакцію. При дії ЕМВ, як правило, відбувається стимуляція гіпофізарно-адреналінової системи, що супроводжується збільшенням вмісту адреналіну в крові, активацією процесів згортання крові.

- вплив на статеву функцію. Порушення статевої функції зазвичай пов'язані зі зміною її регуляції з боку нервової та нейроендокринної систем.

Симптоми захворювання різноманітні і численні. Зазвичай, на-відмінність єдиного симптому малоімовірно, оскільки всі функціональні органи людини взаємопов'язані.

1. Фізичні нездужання: сонливість, непроходяча втома; головний біль після роботи; болі в нижній частині спини, в ногах, відчуття поколювання, оніміння, болі в руках; напруженість м'язів верхньої частини тулуба.

2. Захворювання очей: відчуття гострого болю, печіння, свербіння.

3. Порушення візуального сприйняття: неясність зору, яка збільшується протягом дня; виникнення подвійного зору.

4. Погіршення зосередженості і працездатності: зосередженість досягається за працею; дратівливість під час і після роботи; повітря робочої точки на екрані; помилки при друкуванні.

4.2 Заходи щодо поліпшення умов праці

До приміщення науково-дослідного відділу й організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення в якому знаходиться робоче місце з ПК повинно мати природне освітлення, бажано з одnobічним розміщенням світопрорізів, площа освітленості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світопрорізами. Віконні прорізи в приміщенні з ПК повинні мати регульовані жалюзі чи занавеси або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць із ПК у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з ПК рекомендується розміщати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з ПК повинна складати 6 м², об'єм – 20 м³. Неприпустиме розташування ПК, при якому працюючий звернений обличчям, або спиною до вікон чи кімнати задньої частини ПК, у яку монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень із ПК полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені в «Перелік дозволених , МЗ» 1977-1985 р.

В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами складає 3 м. Екрани відеомоніторів ПК знаходяться від очей

користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 метрів від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотним пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння і спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

4.2.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентилявання. Витрату повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)}, \quad (4.1)$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.; c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг); p – обсягова вага повітря (1,226 кг/м³); t_B – температура витяжного повітря (30°C); t_H – температура приточного повітря (20°C).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла за наступною формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СП}}, \quad (4.2)$$

де $Q_{\text{УСТ}}$ – виділення тепла від устаткування; $Q_{\text{ПЕР}}$ – виділення тепла робітниками; $Q_{\text{ОСВ}}$ – надходження тепла від електричного освітлення; $Q_{\text{СП}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_{\theta} \cdot 860, \quad (4.3)$$

P – сумарна потужність устаткування, кВт/год; K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95); K_o – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{уст} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_o \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{пер} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (4.4)$$

де n – кількість працюючих; g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год).

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{осв} = E_m \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год,} \quad (4.5)$$

де E_m – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк; g_1 – питоме тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для / люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.) S – площа приміщення, м².

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна за наступною формулою:

$$Q_{сп} = F \cdot g_2 \cdot K_{осл} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год,} \quad (4.6)$$

де F – площа віконних прорізів (3х2,5=7,5 м²); g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.); $K_{осл}$ – коефіцієнт ослаблення, приймаємо 0,4.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{над} = Q_{уст} + Q_{пер} + Q_{осв} + Q_{сп} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування і вентилявання має продуктивність 2200 куб. м./годину, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати (22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та 40-60 % відповідно. При збереженні всім параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, рухливість повітря (0,1 – 0,2) метрів секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

4.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($h=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{\text{стелі}} = 70$ %, $P_{\text{стін}} = 50$ %. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м.. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути у межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики

світильника. В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідному відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,5 - 0,4 = 2,8 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,8 = 2,0 \text{ м.}$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{2^2} = 6.$$

Приймаємо 6 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 3 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника (Φ_L) визначається за формулою:

$$\Phi_L = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк; K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп; S – площа приміщення, що освітлюється, м²; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15); N – кількість світильників; n – кількість ламп у світильнику; η – коефіцієнт використання світового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 (при $i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обираємо лампу Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої становить 2100 лм. Хоча це значення на 18% більше розрахованого, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 6 = 900 \text{ Вт.}$$

4.3 Пожежна безпека

Найважливішою умовою роботи будь-якого підприємства є дотримання правил пожежної охорони. У приміщенні лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідному відділу основні міри для забезпечення пожежної безпеки визначає «Інструкція про заходи пожежної безпеки для службових приміщень (офісів)». Вона є обов'язковою для використання всіма співробітниками відділу. У згідності з цією інструкцією, у кожному приміщенні повинний бути призначений відповідальний за пожежну безпеку, вивішена на видному місці табличка з указівкою його посади та прізвища.

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи та виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захащувати. По мірі нагромадження та закінчення роботи пальні відходи варто збирати в спеціально відведених сміттєзбиральників.

Електромережі, електроприлади й апаратура повинна експлуатуватися тільки в справному стані, з урахуванням рекомендацій підприємства-виготовлювачів. У випадку виявлення ушкоджень електромереж, вимикачів, розеток та інших електровиробів варто негайно відключи їх та вжити необхідних заходів до приведення в пожежобезпечний стан. Документи папір та інші горючі матеріали варто зберігати на відстані не менш 1 м від електрощитів, електрозбірок та електрокабелів, 0,5 м від світильників та 0,25 м від приладів опалення.

Засоби протипожежного захисту (пожежні крани, пожежна й охоронно-пожежна сигналізація, первинні засоби пожежогасіння і т.п.), що мають у приміщеннях, варто тримати в справному стані.

Усі працівники повинні пройти протипожежний інструктаж, уміти користатися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння та знати місце їхнього перебування. Відстань від найбільш віддаленого місця приміщення до місця розміщення вогнегасника не повинне перевищувати 20 м.

4.4 Безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві

Об'єктом розгляду на предмет визначення надзвичайних небезпек та їх наслідків є науково-дослідний відділ. Однією із вірогідних загроз може бути раптове виникнення пожеги внаслідок короткого замикання в електромережах або розрядів статистичної електрики, що може привести до пошкодження і руйнування будівлі, устаткування, комунікацій, виділення токсичних продуктів горіння.

Тому в науково-дослідному відділі розроблено оперативний план гасіння пожежі, який визначає порядок дії персоналу при пожежі, порядок її гасіння в електроустановках, взаємодію з власним складом пожежних підрозділів, а також застосування схем і засобів пожежогасіння з урахуванням заходів безпеки.

Будівля повинна бути обладнана мережею протипожежного водозабезпечення, установками виявлення та гасіння пожеж відповідно вимогам нормативно-технічних документів. Кожний працівник повинен чітко знати та виконувати вимоги ППБ та протиаварійний режим на об'єкті, уміти користуватися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння і знати місце їхнього перебування.

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи і виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захащувати. Засоби протипожежного захисту в приміщеннях потрібні триматися у справному стані.

У випадку виявлення пожежі слід: негайно повідомити державну пожежну охорону за телефоном «101», вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, своє прізвище; повідомити про пожежу керівництву, а в нічний час черговому охоронцю; у разі можливості почати гасіння пожежі наявними засобами, організувати зустріч пожежних підрозділів.

При виникненні пожежі у початковій стадії його розвитку випромінюється тепло, накопичуються токсичні продукти згоряння, імовірні руйнування будівельних споруд. Тому слід як можна швидше провести евакуацію людей із палаючої будівлі. Показником ефективності евакуації є час, протягом якого працівники можуть при потрібності залишити окремі приміщення і будівлю в цілому. Безпека евакуації досягається тоді, коли час евакуації не перевищує час настання критичної фази розвитку пожежі, тобто часу від початку пожежі до досягнення граничних для людини впливів факторів пожежі (критичних температур, ступені задимлення, зниження концентрації кисню и т.п.). Число евакуаційних виходів повинно бути не менш двох. Вони повинні розташовуватися розосереджено. Мінімальна відстань між найбільш віддаленими один від одного евакуаційними виходами із приміщення визначається за формулою:

$$l = 1,5 \cdot \sqrt{P} = 1,5 \cdot \sqrt{19} = 6,5 \text{ м}, \quad (4.7)$$

де P – периметр приміщення, м.

Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися у напрямку виходу із будівлі. У кожному приміщенні на видному місці повинен бути вивішений план евакуації при пожежі.

При пожежі обов'язково необхідно враховувати небезпечні чинники і механізм їх дії на людину. При виникненні пожежі, після виклику пожежної охорони, необхідно попередити про це усіх, хто знаходиться поруч, після чого евакуюватися самому і по можливості допомогти евакуюватися іншим, особливо особам літнього віку і дітям, попереджаючи при цьому виникнення

паніки. З метою обмеження циркуляції повітря, яке здатне збільшувати швидкість горіння, покидаючи приміщення, закрийте за собою усі двері, якщо це можливо. Якщо пожежа виникла в приміщенні над вами і безпосередньої загрози для вас не спостерігається, то бажано виконати заходи по зниженню можливих втрат від води яку проливають при гасінні пожежі. Для цього необхідно відключити всі електроприводи та прикрити їх поліетиленовою плівкою. Значно гірше, якщо пожежа виникла в приміщенні під вами – потрібно оцінити обстановку и якщо є впевненість, що ще не має сильної задимленості з високою температурою, потрібно негайно покинути приміщення, рухаючись до виходу по коридорам і сходовим кліткам. Користуватися ліфтом категорично забороняється, за винятком ліфтів, які спеціально призначені для транспортування пожежної охорони. Шахта ліфта є шляхом для поширення диму і отруйних продуктів горіння, до того ж при пожежі ліфт часто відключають і можна опинитися в пастці при пожежі.

Якщо ви знаходитесь в приміщенні де немає пожежі, але відрізани вогнем, димом, високою температурою від головних шляхів евакуації, то в першу чергу необхідно заважити доступу диму и продуктів горіння в це приміщення. Для чого необхідно негайно закрити усі щілини у дверях та під ними змоченими водою ганчірками, рушниками, робочими халатами та ін. Якщо приміщення все ж заповнено димом, необхідно підповзти до вікна, закрити при цьому рот та ніс змоченою тканиною, яка грає роль фільтру та в певній мірі захищає від продуктів горіння.

Рухатись у задимленій зоні поповзом або максимально пригнувшись, необхідно тому що більшість нагрітих газоподібних отруйних речовин та дим збираються у верхній зоні приміщення, окрім цього, в приміщенні при горінні температура на рівні очей людини у 6 разів вище за температуру на рівні полу, до того ж внизу завжди зберігається більша концентрація кисню. Коли ви опинились біля вікна трохи відкрийте його та дихайте через щілину, очікуючи прибуття пожежників. При їх прибутті негайно зверніть на себе увагу. Ніколи не стрибайте через вікно без відомої на це необхідності (кожний другий стрибок з 4-го поверху при пожежі смертельний).

ВИСНОВКИ

1. Обґрунтовано та розроблено систему автоматичного керування процесом буріння за критерієм мінімуму енерговитрат при обмеженнях на продуктивність. Було проведено аналіз бурової установки як об'єкту керування і процесу буріння як об'єкту контролю й автоматизації.

2. Представлено математичну модель буріння у загальному вигляді, яка повністю описує усі процеси, які відбуваються під час буріння. З математичної моделі було виділено і досліджено дві функції: механічної швидкості буріння і питомих енерговитрат. Функція механічної швидкості буріння є однією з найважливіших показників процесу буріння і показує продуктивність процесу буріння.

3. Поставлено задачу оптимального керування для досягнення мінімуму енерговитрат при обмеженнях на продуктивність (механічна швидкість буріння повинна бути більшою або дорівнювати певному мінімально допустимому значенню). Під час проведення досліджень було з'ясовано, що задача не може бути розв'язана методами оптимального керування. Використання методів нелінійного програмування також не дало результатів, тому що цільова функція є суттєво нелінійною функцією і на кожному кроці розв'язку складність задачі тільки збільшується. Було прийняте рішення розв'язати задачу сучасним еволюційним методом, а саме за допомогою генетичного алгоритму. За допомогою даного методу задача була з легкістю розв'язана і були отримані оптимальні значення режимних параметрів процесу буріння.

4. На основі проведених досліджень була розроблена функціональна схема системи автоматичного керування, вибрано технічні засоби САК та розроблена принципова електрична схема.

5. Було розраховано основні показники охорони праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДТЕК Нафтогаз розпочав програму глибокого буріння 6 свердловин на Мачуському родовищі [Електронний ресурс] // expro.com.ua – Режим доступу: <https://expro.com.ua/novini/dtek-rozpochav-programu-glibokogo-burnnya-6-sverdlovin-na-machuhskomu-rodovisch->
2. Odesa Offshore Conference 2019 [Електронний ресурс] expro.com.ua // – Режим доступу: <https://expro.com.ua/zahodi/odesa-offshore-conference-2019>
3. Бурение [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Бурение>.
4. Drilling Methods [Електронний ресурс]// <http://www.welldrillingschool.com/courses/pdf/DrillingMethods.pdf>.
5. Фесенко М. Ю. «Процеси буріння» [Реферат] / М. Ю. Фесенко. – Краснодар – 2010. – 18 с.
6. Булатов А. І. Техніка і технологія буріння нафтових та газових свердловин / А. І. Булатов, Ю. М. Проселков, С. А. Шаманов. – М.: ООО «Недра-Бізнесцентр», 2003. – 1007 с.
7. Козловський Є. О. Автоматизація процесу геологорозвідувального буріння/ Є. О. Козловський, Р. Х. Гафіятулін. – М.: Недра, 1977. – 215 с.
8. Козловський Є. О. Кібернетичні системи в розвідувальному бурінні / Є. О. Козловський, М. А. Комаров, В. М. Пітерський. – М.: Недра, 1985. – 284 с.
9. Козловський Є. О. Механізація і оптимізація процесу буріння розвідувальних свердловин / Є. О. Козловський, О. Д. Дьяков, П. О. Петров. – М.: Недра, 1980. – 384 с.
10. Клімановський П. І. Стан розробок по автоматизації процесу буріння [Реферат] / П. І. Клімановський. – М.: 2010. – 3 с.
11. Ситніков М. Б. Використання функції зношування в математичній моделі процесу буріння свердловин / М. Б. Ситніков // Гірський журнал. – 1989 р. – №11. – с. 57-60.
12. Ситніков М. Б. Способи і засоби оптимізації процесу буріння геологорозвідувальних свердловин / М. Б. Ситніков, Л. В. Макаров // Науково-технічні досягнення і передовий досвід в області геології і розвідки надр: Інформаційний збірник №6. – М.: ВІЕМС – 1960. – с. 61-73
13. Ситніков М. Б. Аналіз математичної моделі процесу буріння безкернавого буріння свердловин / М. Б. Ситніков // Гірський журнал. – 1992. – №9. – с. 23-28.

14. Ситніков М. Б. Експериментально-теоритичні дослідження математичної моделі процесу буріння глибоких свердловин / М. Б. Ситніков // Гірський журнал. – 1994. – №4. – с. 23-30.

15. Козловський Є. О. Оптимізація процесу розвідувального буріння / Є. О. Козловський. – М.: Недра. – 1975. – 303 с.

16. Ситніков М. Б. Методика вибору базових значень режимних параметрів при алмазному бурінні геологорозвідувальних свердловин / М. Б. Ситніков, В. Т. Трапезніков, Г. О. Багаутінов // Гірський журнал. – 1987. – №5. – с. 57-60.

17. Оптимальное управление [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: http://ru.wikipedia.org/wiki/Оптимальное_управление.

18. Нелинейное программирование [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу:

http://ru.wikipedia.org/wiki/Нелинейное_программирование.

19. Самаров К. Л. Математика. Учбово-методичний посібник для студентів за розділом «Функції декількох змінних. Нелінійне програмування» / К. Л. Самаров. – М.: Учбовий центр «Резольвента». – 2009. – 26 с.

20. Генетический алгоритм [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: http://ru.wikipedia.org/wiki/Генетический_алгоритм.

21. Jamal J. Azar, G. Robello Samuel. Drilling Engineering / A. Jamal, S. Robello. – PennWell Books. – 2007. – 486 p.

22. G. Robello Samuel, Xiushan Liu. Advanced Drilling Engineering: Principles and Designs / S. Robello, L. Xiushan. – Gulf Pub. – 2009. – 504 p.

23. Жаркова Н. С., Гермашев А. Г., Святославова В. В. Методичні вказівки по розробці правил та інструкцій по охороні праці / Н. С. Жаркова, А. Г. Гермашев, В. В. Святославова. – М. – 1995. – 68 с.

ДОДАТОК А

Характеристики обраного обладнання

Таблиця А.1 – Технічні характеристики датчика SITRANSPDSIII

Параметр	Значення
Діапазон виміру	0,01 бар...400 бар
Діапазон температур рідини	-40 °С...+100°С
Вихід	струм, Profibus
Вихідний діапазон	4...20 мА
Похибка виміру	0,075%
Клас захисту	IP65
Напруга живлення	24 В

Таблиця А.2 – Технічні характеристики датчика Temposonics RF

Параметр	Значення
Вихід	напруга, струм, SSI, CANbus, DeviceNet, Profibus
Вихідні величини	позиція, швидкість
Роздільна здатність	10 мкм
Лінійне відхилення	менше 0,02%
Гістерезис	менше 4 мкм, зазвичай 2 мкм
Напруга живлення	24 В (-15%...+20%)
Захист полярності	до -30 В
Захист від перенапруги	до 36 В
Споживання струму	100 мА
Довжина штоку	20120 мм
Ступінь захисту	IP65

Таблиця А.3 – Технічні характеристики датчика Simodrive Sensor

Параметр	Значення
1	2
Напруга живлення	+10...+30 В
Споживна потужність	3,5 Вт
Інтерфейс	Profibus
Розрішення	4096 біт/оберт
Робоча частота обертання	6000 об/хв
Максимальна частота	10000 об/хв
Робоча температура	0...70 °С
Ступінь захисту	IP65

Таблиця А.4 – Технічні характеристики електричного приводу клапана типу SKD 60

Параметр	Значення
----------	----------

Напруга живлення	+24 В
Споживна потужність	12 Вт
Тип керування	0...10 В, 4...20 мА
Номінальний хід	20 мм
Температура рідини	-25...+140 °С

Таблиця А.5 – Технічні характеристики частотного перетворювача SimovertMasterdrives VC

Параметр	Значення
1	2
Номінальна напруга	вхідна: 3АС 660 (-15%)...690(+10%) В; вихідна: 3АС 0..75% від напруги живлення
Вихідна частота	0...600 Гц
Вихідний струм	92 А
Номінальна потужність	61...76 КВт
Частота імпульсів	1,7...16 КГц
ККД	0,98
Струм базової напруги	91% від номінального вихідного струму
Струм перенавантаження	160% від номінального вихідного струму
Ступінь захисту	IP20

Таблиця А.6 – Технічні характеристики S7 CPU 315F-2 PN/DP

Параметр	Значення
1	2
Основна пам'ять	512 КБ
Час виконання операцій	логічні: 0,05мкс; зі словами: 0,09мкс; з фікс. точкою: 0,12мкс; з плав. точкою: 0,45мкс
Кількість флагів/таймерів/лічильників	2048/256/256
Макс. кількість каналів вводу-виводу (дискретних/аналогових)	1024/256
Вбудовані інтерфейси	MPI, PROFINET, PROFIBUS DP
Вбудовані дискретні входи/виходи	немає
Вбудовані аналогові входи/виходи	немає
Макс. кількість модулів	8
Мови програмування	LAD, FBD, STL
Номінальна напруга живлення	24 В
Споживання струму	60 мА
Струм включення	2 А

Таблиця А.7 – Технічні характеристики PS 307 2А

Параметр	Значення
Номінальна вхідна напруга	АС 120/230 В (-15%...+10%)
Частота мережі	50/60 Гц (± 2%)

Вхідний струм	0,8 А при 120 В, 0,5 А при 230 В
Струм пуску	20 А
Вихідна напруга	+24 В
Вихідний струм	2 А
Захист від короткого замикання	електрона, без фіксації
Остаточні пульсації	150 мВ
Клас захисту	згідно з ІЕС 536
Гальванічна розв'язка	схема з безпечною наднизькою напругою
ККД	83%
Потужність	58 Вт
Габарити	50 x 125 x 120 мм

Таблиця А.8 – Технічні характеристики SM332

Параметр	Значення
Напруга живлення	24 В
Струм живлення	135 мА
Кількість аналогових виходів	2
Діапазон виходу по напрузі	0...10 В, 1...5 В, -10...+10 В
Діапазон виходу по струму	0...20 мА, -20...+20 мА, 4...20 мА
Розрішення ЦАП на канал	12 біт
Час перетворення ЦАП	0,8 мс
Похибка по напрузі	±0,4%
Похибка по струму	±0,5%

Таблиця А.9 – Технічні характеристики Intel Xeon E3-1290V2

Параметр	Значення
<i>1</i>	<i>2</i>
Кількість ядер	4
Кількість потоків	8
Тактова частота	3,7 ГГц
Максимальна частота з технологією TurboBoost	4,1 ГГц
L3 кеш	8 МБ
Співвідношення ядер та шин	37
Набір команд	64-біт
Розширення набору команд	AVX, SSE4.1, SSE4.2

Продовження таблиці А.9

<i>1</i>	<i>2</i>
Літографія	22 нм
Споживна потужність	87 Вт
Максимальний об'єм пам'яті	32 ГБ
Тип пам'яті	DDR3-1333/1600
Кількість каналів пам'яті	2
Сокет	LGA1155

Таблиця А.10 – Технічні характеристики Intel Server Board S1200BTL

Параметр	Значення
Сокет	LGA1155
Кількість сокетів	1
Форм-фактор плати	ATX
Максимальний об'єм пам'яті	32 ГБ
Тип пам'яті	DDR3
Кількість каналів пам'яті	2
Кількість портів LAN	2
Кількість портів SATA	6
Інтегрований мережевий адаптер	2 x 1Гб

Таблиця А.11 – Технічні характеристики планок Corsair PC3-12800

Параметр	Значення
1	2
Типа пам'яті	DDR3
Частота пам'яті	1600 МГц
Напруга живлення	1,5 В
Охолодження	алюмінієвий радіатор
Схема таймінгів	9-9-9-24

Таблиця А.12 – Технічні характеристики WesternDigitalVelociRaptor

Параметр	Значення
Інтерфейс	SATA III
Ємність	250 ГБ
Форм-фактор	3,5"
Об'єм буфера	64 МБ
Швидкість обертання шпинделя	10000 об/хв
Швидкість передачі даних	6 Гб/с
Споживна потужність	5,1 Вт

Таблиця А.13 – Технічні характеристики корпусу E-server 3U S

Параметр	Значення
Габарити	620x480x132мм
Охолодження	3 вентилятора 80x80x25 мм
Підтримка материнських плат	miniATX, ATX, Extended ATX
Блок живлення	600 Вт

Таблиця А.14 – Технічні характеристики CP1623

Параметр	Значення
Монтажний слот	PCI Express v1.1
Швидкість передачі	100 Мб/с
Інтерфейси	2 x RJ45
Кількість з'єднань	S7: 120, SEND/RECEIVE: 120
Живлення	0,85 А при 3,3 В, 0,4 А при 12 В