

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматичної, електроніки та телекомунікацій  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Розроблення асинхронного електроприводу пересувного верстату для шарошечного буріння свердловин

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-МЕ  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Сузима А.О.  
(прізвище та ініціали)

Керівник Єрмілова Н.В.  
(прізвище та ініціали)


Рецензент Кислиця С.Г.  
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2024 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та  
робототехніки  
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій  
Ступінь вищої освіти Бакалавр  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри автоматки,  
електроніки та телекомунікацій

  
О.В. Шефер

«01» квітня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ СТУДЕНТУ**  
**Сузимі Андрію Олеговичу**

1. Тема роботи «Розроблення асинхронного електроприводу пересувного верстату для шарошечного буріння свердловин»  
керівник роботи Єрмілова Наталя Василівна, к.т.н., доцент  
затверджена наказом вищого навчального закладу від від 08.12.2023 року  
№ 1481/1фа від 08.12.2023 .

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Технічна документація на верстат СБШ-250МН. Загальна потужність верстату – 400 кВт, потужність головного приводу обертання – 68 кВт. Напруга живлення ~ 380 В. Розробити регульований електропривод, забезпечити перерегулювання у межах 20%, час регулювання не більше 0,5 с, величину помилки в усталеному режимі не більше 0,4 %.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Будова та принцип роботи пересувного верстату для шарошечного буріння свердловин, особливості його електроприводу. Розрахунок потужності, вибір та перевірка вибору електродвигуна. Розроблення системи керування електроприводом. Вибір перетворювача частоти. Комп'ютерне моделювання. Дослідження перехідних процесів. Формулювання висновків.

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

- 1) загальний вигляд верстата СБШ-250МН;
- 2) структурна схема векторної системи управління електроприводом;
- 3) комп'ютерна модель верстата;
- 4) комп'ютерна модель векторної системи управління;

- 5) комп'ютерна модель механічної частини привода;
- 6) графік перехідних процесів механічної частини електропривода
- 7) графік перехідних процесів в електроприводі бурового верстату СБЩ-250МН
- 8) висновки.

6. Дата видачі завдання 01.04.2024 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Дата	Категорія	Відсоток	
1	Будова та принцип роботи пересувного верстату для шарошечного буріння свердловин, особливості його електроприводу	25.04.24	I	20%	Пл. 1
2	Розрахунок потужності, вибір та перевірка вибору електродвигуна	08.05.24		40%	Пл. 2,3
3	Розроблення системи керування електроприводом. Вибір перетворювача частоти	23.05.24	II	60%	Пл. 4,5
4	Комп'ютерне моделювання. Дослідження перехідних процесів. Формулювання висновків	30.05.24		80 %	Пл. 6,7
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	10.06.24	III	100%	Пл. 8

Студент

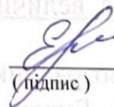


(підпис)

Сузима А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Єрмілова Н.В.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра " Розроблення асинхронного електроприводу пересувного верстату для шарошечного буріння свердловин "

Робота містить 50 сторінок, 42 ілюстрації, 11 використаних джерел.

Ключові слова: електропривод, шарошечне буріння, перетворювач частоти, перетворювач частоти, комп'ютерна модель, перехідний процес.

Предметом дослідження кваліфікаційної роботи є асинхронний електропривод пересувного верстату для шарошечного буріння свердловин. Об'єктом дослідження є розроблення системи автоматичного управління асинхронним електроприводом.

Розроблена система автоматичного управління асинхронним електроприводом пересувного верстату для шарошечного буріння свердловин дозволяє не тільки забезпечити потрібні параметри технології, але й точність регулювання всіх ключових параметрів процесу. Це сприяє стабільності роботи бурового обладнання та дозволяє досягти високої буріння якості виконання бурових робіт.

Застосування уніфікованих та широко використовуваних пристроїв у схемі управління значно полегшує задачу технічного обслуговування та ремонту обладнання. Це сприяє зниженню тривалості вимушених простоїв у випадку виникнення несправностей, що, в свою чергу, підвищує ефективність та надійність виробничого процесу. Крім того, така система забезпечує більшу гнучкість у налаштуванні та модернізації обладнання, що дозволяє оперативно реагувати на зміни робочих потреб.

Розроблена система управління також покращує взаємодію між різними елементами бурового комплексу, підвищуючи загальну надійність та довговічність обладнання. В результаті, це забезпечує зменшення витрат на обслуговування та експлуатацію, а також підвищення безпеки роботи.

Робота має значну практичну цінність. Після більш детальної доробки та тестування результати можуть бути впроваджені на даному підприємстві, що дозволить підвищити ефективність бурових робіт, знизити експлуатаційні витрати та забезпечити стабільну роботу обладнання в умовах реальної роботи.

#### ABSTRACT

of the Bachelor's Qualification Work "Development of an Asynchronous Electric Drive for a Mobile Machine for Roller Cone Drilling"

The work comprises 50 pages, 42 illustrations, and 11 references.

Keywords: electric drive, roller cone drilling, frequency converter, computer model, transient process.

The subject of this qualification work is the asynchronous electric drive for a mobile machine used in roller cone drilling. The object of the study is the development of an automatic control system for the asynchronous electric drive.

The developed automatic control system for the asynchronous electric drive of the mobile machine for roller cone drilling not only ensures the required technological parameters but also the accuracy in regulating all key parameters of the process. This contributes to the stability of the drilling equipment operation and allows achieving high quality in drilling operations.

The use of standardized and widely used devices in the control scheme significantly simplifies the task of technical maintenance and repair of the equipment. This helps to reduce the duration of forced downtimes in case of malfunctions, which in turn increases the efficiency and reliability of the production process. Additionally, such a system provides greater flexibility in the adjustment and modernization of the equipment, allowing for quick responses to changing operational needs

The developed control system also improves the interaction between different elements of the drilling complex, enhancing the overall reliability and longevity of the equipment. As a result, this ensures a reduction in maintenance and operating costs, as well as an increase in operational safety.

## Зміст

Вступ .....	1
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	2
1.1 Принцип дії верстатів шарошкового буріння .....	2
1.2 Будова верстата шарошкового буріння.....	2
1.3 Класифікація долот .....	10
1.4 Постачання верстатів та їх монтаж .....	13
1.5 Забурювання та буріння свердловини .....	14
1.6 Особливості процесу буріння нахилених свердловин .....	15
1.7 Догляд за буровим верстатом .....	17
1.8 Опис електроприводу .....	18
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	19
2.1 Вибір двигуна привода верстата .....	19
2.2 Розрахунок параметрів схеми заміщення.....	20
2.3 Розроблення системи керування електроприводом .....	22
2.4 Вибір перетворювача частоти .....	27
3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ .....	29
3.1 Комп'ютерна модель модернізованого електроприводу.....	29
3.2 Склад комп'ютерної моделі.....	33
4 РОЗРАХУНОК НАЛАШТУВАНЬ РЕГУЛЯТОРА .....	39
4.2 Розрахунок регуляторів .....	41
5 ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ.....	44
5.1 Моделювання перехідних процесів. ....	44
5.2 Аналіз перехідних процесів, отриманих в результаті моделювання.....	45
5.3 Програма для мікроконтролера.....	45
Висновок.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50

## Вступ

Сучасні вимоги до нафтової і газової промисловості змушують розробників постійно шукати нові технологічні рішення для підвищення продуктивності та зниження впливу на навколишнє середовище. Особливе значення у цьому процесі має шарошечне буріння, яке є одним із найефективніших методів відкритого освоєння нафтових і газових свердловин. Ефективність цього процесу напряму залежить від технічного стану та точності пересувних верстатів, що використовуються.

Одним із ключових напрямків удосконалення таких верстатів є застосування сучасних асинхронних електроприводів. Ці технології дозволяють значно знижувати витрати електроенергії за рахунок оптимізації роботи двигунів, підвищують керованість устаткування та забезпечують плавне регулювання потужності і швидкості верстатів. Важливою перевагою асинхронних систем є їх висока надійність і здатність працювати в умовах великих навантажень і значних механічних напруг.

Мета даної бакалаврської роботи полягає у розробленні та комплексному аналізі асинхронного електроприводу для пересувного верстату шарошечного буріння. Дослідження включає аналіз конструкційних особливостей приводу, експериментальне визначення його ефективності в умовах реальної експлуатації та порівняння з традиційними технологіями.

Подальший розвиток даної технології може мати значний вплив на покращення енергоефективності та екологічної безпеки в галузі нафтогазової промисловості. Окрім того, впровадження асинхронних електроприводів може сприяти зменшенню експлуатаційних витрат і підвищенню довговічності устаткування. Це, в свою чергу, дозволить знизити вартість видобутку нафти і газу, зробивши ці ресурси більш доступними на світовому ринку.

## **1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА**

### **1.1 Принцип дії верстатів шарошкового буріння**

Принцип дії верстатів шарошкового буріння аналогічний принципу дії верстатів шнекового буріння: верстат також здійснює обертання бурового інструменту та одночасне його подачу на відбій. Однак замість коронки ріжучого типу ці верстати оснащені шарошковими долотами, для успішної роботи яких потрібні значно більші осьові зусилля приблизно 200—300 кН, інтенсивне очищення свердловини та охолодження долота, що зазвичай досягається продуванням стисненим повітрям.

Відносна частка шарошкового буріння у загальному обсязі буріння становить приблизно 70%. На вугільних розрізах верстати шарошкового буріння складають приблизно 40% всього парку верстатів. У горизонтальному положенні верстат фіксується за допомогою трьох гідравлічних домкратів. Вежа може фіксуватися у трьох положеннях (вертикальне, під кутом  $15^\circ$  і під кутом  $30^\circ$  до вертикалі) за допомогою спеціального механізму. Схил вежі і перенесення її в транспортне (горизонтальне) положення здійснюються за допомогою двох гідроциліндрів, шарнірно з'єднаних з опорами вежі. Операції спуску та підйому, а також завинчування і розвинчування долот і штанг механізовані. Очищення свердловини здійснюється повітряно-водяною сумішшю. Верстат оснащений установкою подачі повітряної вентиляції з підігрівом та зволоженням повітря. Механізм подачі - канатно-гідравлічний, який забезпечує рух обертального механізму по вежі на довжину штанги (8 м).

### **1.2 Будова верстата шарошкового буріння**

У передній частині машинного відділення встановлені електричні шафи управління, маслопідкачувальна станція, блок гідроапаратури, водяні насоси та інше допоміжне обладнання. У задній частині розташовані два гвинтових компресора та два кабельні барабани для автоматизованого укладання живильних кабелів верстата. До передньої частини машинного відділення прилягає кабіна машиніста. У кабіні розташовані пульт управління, шафа для спецодягу, два крісла та обігрівач кабіни. На консолях рами правої частини машинного відділення встановлено ємність для води. Між кабіною та ємністю для води на двох кронштейнах встановлено вежу верстата.

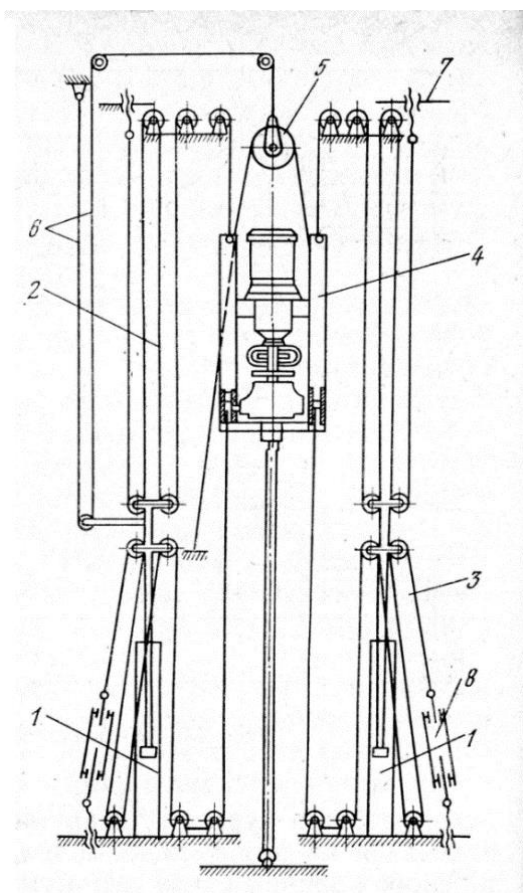


Рисунок 1.1 – Щогла верстату СБШ-250МН

Привід бурового става здійснюється від електродвигуна постійного струму через редуктор та гумокордову зубчасту муфту. Електродвигун та редуктор підвішені на канатах системи подачі і переміщуються по напрямних вежі вслід

за опорним вузлом бурового става. Хід поршня гідроциліндрів , рівний 2 м, забезпечує безперервну подачу обертального пристрою на 8 м, тобто на довжину штанги. Канатно-поліспадна система складається з верхніх та нижніх канатів, кінці яких з'єднані з кареткою обертального механізму. При руху штоків циліндрів вгору відбувається натяг нижніх канатів. При руху обертального механізму вниз гідроциліндри створюють зусилля в 300 кН.

Для натягу гірлянди служить рухома каретка , яка за допомогою каната 6, з'єданого з штоком одного з циліндрів, піднімається або опускається відповідно до обертального механізму, проте проходить вдвічі менший шлях. Натяг каната регулюється за допомогою регулювальних болтів або муфт.

Основне робоче обладнання бурового верстата СБШ-250МН змонтоване в вежі, яка разом з усім обладнанням підвішена на спеціальних опорах, закріплених на силових елементах машинного відділення. За допомогою механізмів, змонтованих в вежі, виконуються всі операції процесу буріння: обертання бурового інструменту, створення осьового зусилля на інструмент, опускання і підйом бурового інструменту, збірка і розбірка бурового става, подача повітряно-водяної суміші до відбитку свердловини

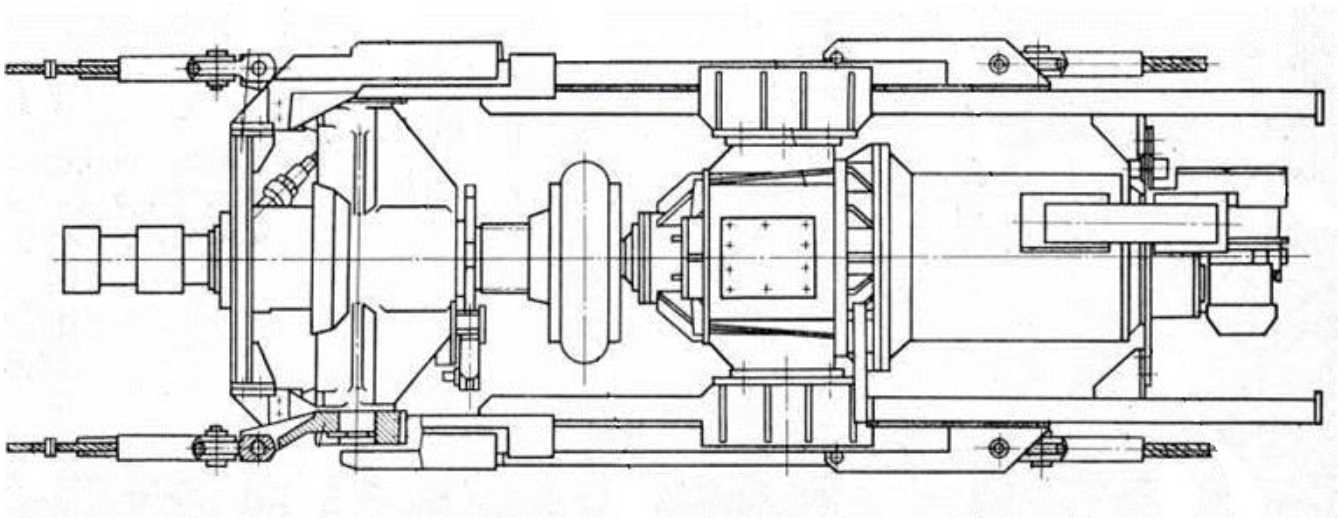


Рисунок 1.2 Механізм обертання бурового верстату СБШ-250МН

Базовим вузлом вежі є її каркас - зварена силова металева конструкція, виконана з швелерів і кутників. За допомогою втулок вежа спирається на каркас машинного відділення і може бути встановлена в вертикальне, нахиле або горизонтальне положення за допомогою двох гідроциліндрів, штоки яких спираються на балку. В середині каркаса закріплені направляючі швелери, по яким в процесі буріння переміщуються обертовий механізм та натяжна каретка, підвішена до балки і підтримуюча гірлянду. До одного з боків каркаса вежі за допомогою чотирьох кронштейнів кріпиться касета, в якій встановлюються три бурові штанги. На нижньому поясі каркаса вежі знаходиться механізм завинчування штанг. Нижній кінець вежі закритий щитом для запобігання потрапляння пилу та бурової дрібниці в механізм завинчування. Для живлення гідроциліндрів касети та механізму завинчування призначений блок гідроапаратури. Безпосередньо на щоглі встановлені втулки для підтримки штанг під час буріння нахилених свердловин, установка відведення бурової дрібниці від ствола свердловини та таль. Щогла оснащена сходишками для огляду, ремонту та обслуговування.

Механізм обертання бурового верстата СБШ-250МН призначений для обертання бурового става та передачі йому осьового зусилля. Привід обертального пристрою здійснюється від постійного струму електродвигуна . Електродвигун прикріплений своїм фланцем безпосередньо до редуктора спеціального виконання.

Зміна частоти обертання бурового става здійснюється за допомогою зміни частоти обертання електродвигуна механізму, що обертається. Каретки, прикріплені до корпусу редуктора та входять у направляючі швеллери щогли, забезпечують фіксацію обертального механізму при його русі по щоглі. Кінці кареток з'єднані траверсою та фланцем , на якому встановлений вентилятор б для охолодження двигуна.

На вихідному валу редуктора встановлена шинно-зубчаста муфта , яка з'єднує його з шпинделем опорного вузла . До підшипників опорного вузла

приєднані вісьма , до яких кріпляться канати механізму подачі. Підйом обертального пристрою здійснюється за допомогою канатів.

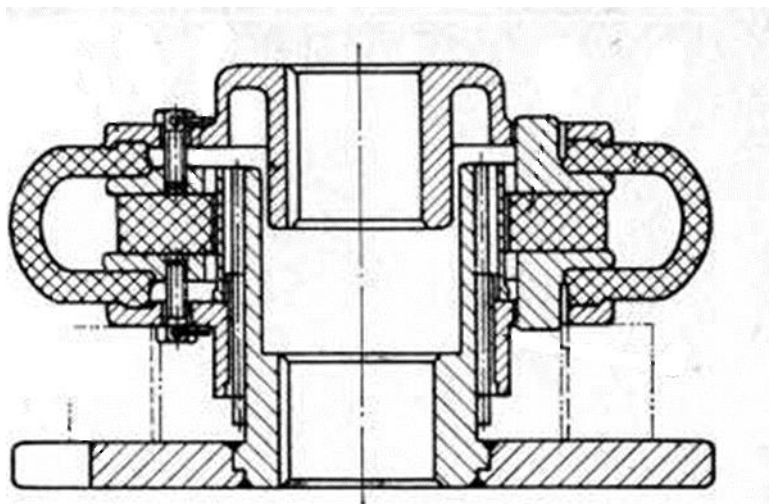


Рисунок 1.3 - Будова шинно-зубчастої муфти

Редуктор механізму обертання - двуступінчастий, одношвидкісний, спеціального виконання з загальним передатковим числом 11,05.

У звареному корпусі з кришкою встановлені на валових підшипниках вал-шестерня , вихідний вал з зубчастим колесом , вал-шестерня з зубчастим колесом. Передача крутного моменту від вала електродвигуна здійснюється через зубчасту півмуфту та зубчастий вінець. Для змащення підшипників редуктора у його кришці вварені прокладки і з відводами. Огляд зубчастих коліс та заливка масла здійснюються через віконце, закрите кришкою . Для відведення використаного мастила служить отвір, закритий затвором.

Шинно-зубчаста муфта призначена для захисту редуктора та електродвигуна обертального механізму від вібрації та передачі крутного моменту від вихідного вала редуктора на шпindel опорного вузла. Півмуфта, з'єднана з вихідним валом редуктора, через еластичну кордову оболонку та зубчасту півмуфту з'єднана шлицями з півмуфтою , що сидить на шпинделі опорного вузла. Еластична оболонка прижмається до півмуфт та півкільцями за допомогою болтів . Між півкільцями встановлено гумове кільце.

Опорний вузол служить для передачі осьового зусилля від механізму подачі буровому ставу та подачі до нього повітряно-водяної суміші. Він складається з

вала, встановленого в траверсі на роликовому підшипнику та кульковому підшипнику, закритих кришкою . Ущільнення каналу для подачі повітряно-водяної суміші до вала здійснено за допомогою двох манжет , затиснутих за допомогою кільця та втулки кришкою .

З'єднання вала з шинно-зубчастою муфтою шліцеве за допомогою болтів та шайб. Для з'єднання вала з штангами бурового ставу використовується перехідник. Для подачі повітряно-водяної суміші у внутрішню порожнину обертової штанги служить кришка опорного вузла, до якої суміш з магістралі, встановленої на гірлянді, подається через штуцер.

Блокування вала від обертання здійснюється за допомогою стопора, встановленого на траверсі та складається з гідроциліндра , кронштейна та важеля.

Механізм подачі представляє собою чотирьохкратну прискорюючу канатно-поліспапну систему з приводом від двох гідроциліндрів, призначений для подачі бурового ставу на забій з напругою до 300 кН.

Механізм натягу гірлянди представляє собою барабан, встановлений на рухомій каретці, підвішеній на канаті. При виведенні штоків гідроциліндрів механізму подачі (при подачі ставу на забій) каретка опускається. При підйомі бурового ставу каретка також піднімається. При підйомі та опусканні каретки вставлена у рейку її барабана гірлянда, що складається з пакета кабелів та шлангів, огинає барабан. Каретка рухається за обертальним пристроєм зі швидкістю, у два рази меншою, що забезпечує натяг гірлянди при будь-якому положенні обертального пристрою.

Касета складається з осі , встановленої в розрізах кронштейнів на кулькових підшипниках. Кронштейни прикріплені болтами до металевих конструкцій щогли. До верхньої частини осі зварена щелепа з зупинками, а до її нижньої частини опора. При встановленні бурової штанги в середнє гніздо опори, вона натискає на педаль важеля та за допомогою троса повертає стопор в горизонтальне положення, подолавши опір пружини . При цьому верхній кінець штанги фіксується в щелепі . При встановленні штанги в одне з крайових гнізд

опори, вона фіксується одним зі стопорів, який повертається в горизонтальне положення тягою, також з'єднаною з важелем відповідного гнізда. При цьому розтягується пружина. Поворот касети здійснюється гідроциліндром, що діє на важіль, одягнений на квадратний нижній кінець осі. При обертанні касети наступна штанга подається на вісь свердловини або відводиться від неї.

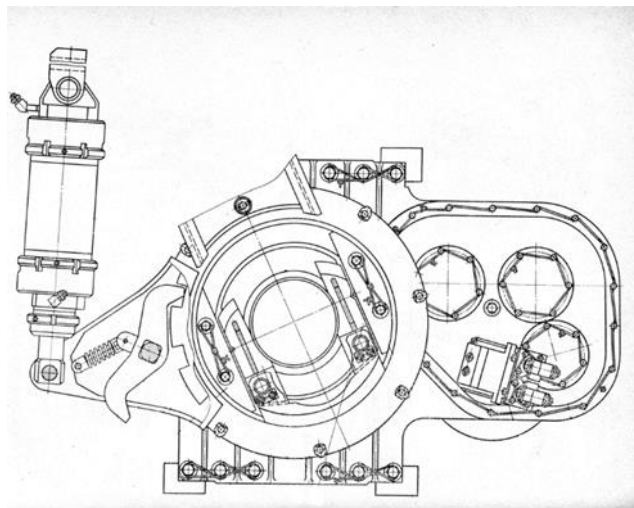


Рисунок 1.4 - Механізм з'єднання та роз'єднання штанг

Механізм з'єднання та роз'єднання штанг складається з корпусу, прикріпленого болтами до металевих конструкцій щогли, в якому встановлений храповий механізм. Поворот храпового колеса, змонтованого в корпусі, може здійснюватися гідроциліндром через собачку або гідродвигуном через редуктор.

На верхню частину храпового колеса, встановленого в розрізах корпусу і його кришки за допомогою підшипника та корпусу, надіті верхня та нижня плити храпового механізму, з'єднані болтами з дистанційними втулками. Між плитами встановлена на осі собачка двосторонньої дії, що забезпечує можливість обертання храпового колеса у обидві сторони при качальному русі плит. В центрі храпового колеса є отвір, а прикріплені до колеса болтами сегменти утворюють прямокутний паз, в який вкладаються колодки. Колодки центруються втулкою. Між втулкою і храповим колесом розташовані амортизуючі гумові кільця.

При роз'єднанні штанг колодки вводяться в пази храпового колеса і з'єднуються з плоскостями кінців нижньої штанги, а верхня штанга утримується

від обертання ключем. Потім за допомогою гідроциліндра виконуються кілька качань шік храповика, що призводить до обертання з'єднаної з храповим колесом нижньої штанги відносно верхньої. Далі штанги роз'єднуються за допомогою гідродвигуна.

Роз'єднання штанг відбувається у зворотному порядку. При цьому собачка повинна бути перед тим переміщена, а гідродвигун реверсований, що забезпечить обертання храпового колеса в протилежний бік.

Підвод наступної штанги під час роз'єднання та відведення відокремленої від ставу штанги при роз'єднання здійснюються касетою.

Люнет кріпиться на щоглі в передній правій частині. Штанга, що проходить через люнет, опирається на два шари, один із яких вбудований у корпусі, а інший - у фіксуєчому ручці. Піднімається у робоче положення за допомогою циліндра, який повертає корпус відносно осі. Ручка захоплює та фіксує штангу в люнеті за допомогою гідроциліндра. Обидва гідроциліндри обладнані гідравлічними замками, що виключають самовільного переміщення. Управління люнетом здійснюється з кабіни машиніста.

Машинне відділення та кабіна бурового верстата СБШ-250М - кабіна з пультом управління кріпиться до одного з балок ходової рами. У кабіні є вхідна двері та вона сполучена з машинним відділенням дверима. До іншої балки ходової рами кріпиться утеплений бак для води. Машинне відділення складається з двох ізольованих приміщень - утепленого і неутепленого, з'єднаних дверима. Окрім того, машинне відділення має вхідну двері. В утепленому приміщенні розміщені різні обладнання та приладдя, такі як насоси, трансформатор та інше. У неутепленому приміщенні розташований компресор та розподільний ящик.

Для горизонтального розташування верстата до каркасу машинного відділення кріпляться три гідродомкрати: два спереду на спеціальних кронштейнах і один ззаду прямо на каркасі.

В якості основного руйнівного інструменту на верстатах СБШ використовуються шарошкові долота. Крім того, на них можуть бути

використані ріжучі та комбіновані долота. Бурові штангини цих верстатів складаються з гладких труб з різьбовими хвостовиками.

### **1.3 Класифікація долот**

Шарошкові долота для буріння вибухових свердловин виготовляються згідно стандарту на "Долота шарошкові. Типи та основні розміри". Вони оснащені однією, двома або трьома шарошками. Найбільш поширеними стали трьохшарошкові долота. Трьохшарошкове долото складається з трьох зварених між собою секцій - лапок, на вушках яких змонтовані шарошки, що обертаються вільно на опорах, обладнаних роликівими і кульковими підшипниками кочення. Зовнішні робочі поверхні шарошок оснащені зубцями. Верхня частина долота для з'єднання зі штангами має стандартну замкову конічну різьбу.

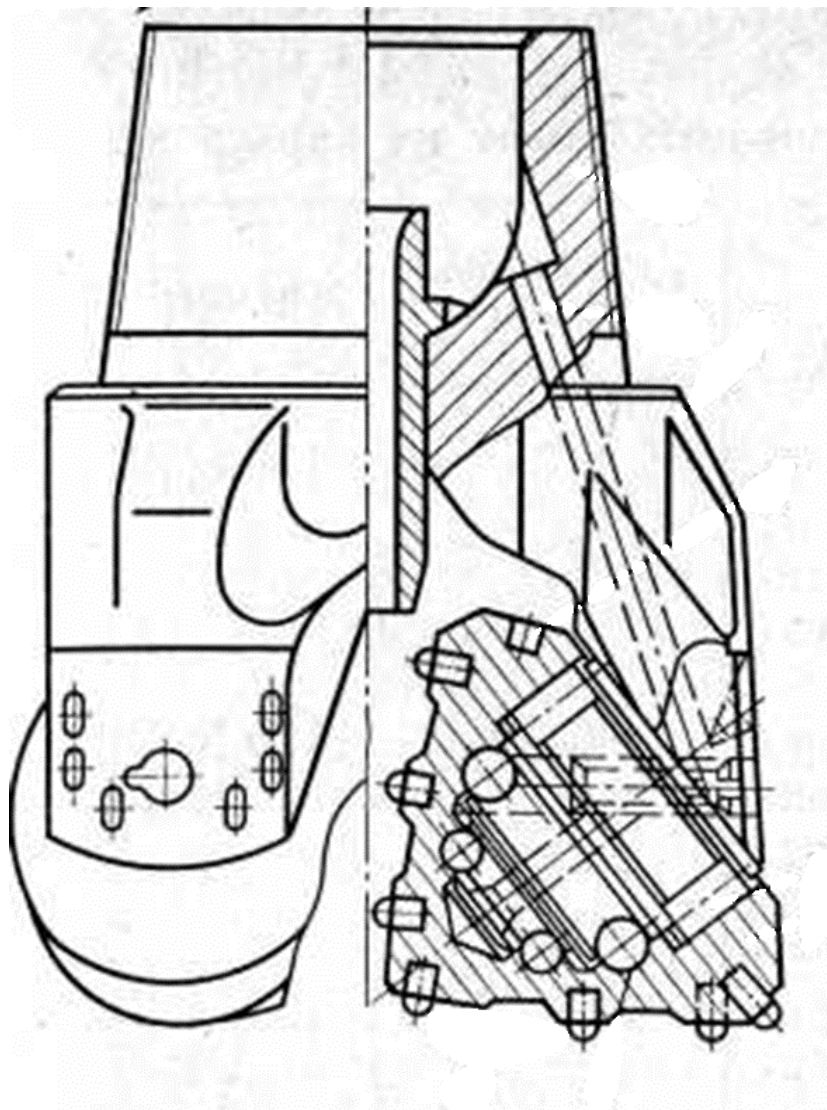


Рисунок 1.5 - Будова трьохшарошкового долота

Зі збільшенням обводненості свердловин стійкість шарошкових долот знижується. Ефективним засобом підвищення стійкості долот в цих умовах є застосування клапанів різних конструкцій.

Протипиловий клапан КД-3 був запропонований Інститутом геотехнічної механіки. Від 40 до 80% долот виходять з ладу через застрягання та знос опор при працездатному озброєнні. Одним із перспективних шляхів підвищення працездатності опор є їх примусове постійне змащення.

У наш час в Україні розроблено буровий знаряддя, що забезпечує постійне примусове подання змащення в опори та пилоподавлення водою, викиданою в

затрубний простір. Резервуар для води об'ємом 50 л забезпечує постійну роботу бурового верстата протягом 35—40 годин.

Також був розроблений спосіб подання мастила до опор долота за рахунок масловідбивної втулки, що встановлюється в центральному продувальному каналі долота. Втулка забезпечує виділення мастила, наявної в повітряному потоці, і направлення його до опор долота. Застосування масловідбивної втулок підвищує середню стійкість долота в 1,2-1,9 разу і збільшує швидкість буріння на 11-20%

Різальні бурові долота. Був ряд конструкцій різальних долот для буріння свердловин верстатами шарошечного буріння з продуванням повітрям. В якості різальних елементів для них використовуються знімні типові різці, число яких збільшене в порівнянні з коронками для верстатів шнекового буріння. Для розміщення різців корпусу подібних долот виконуються трьох- і чотирьоперими, що дозволяє понизити вібрації, що виникають при бурінні.

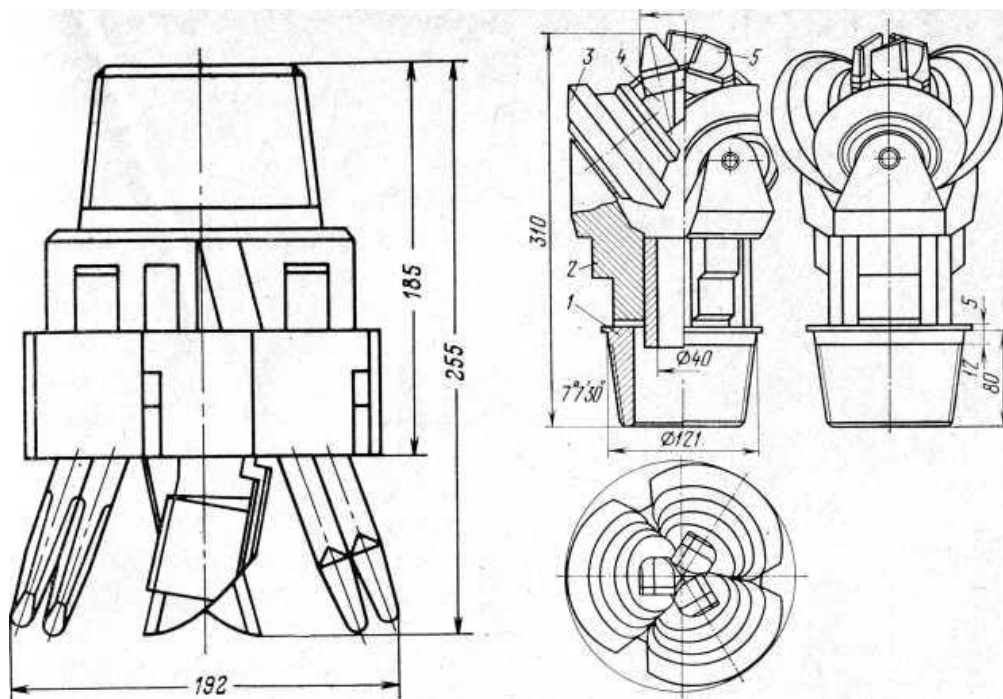


Рисунок - 1.6 Будова різального бурового долота

## 1.4 Постачання верстатів та їх монтаж

Розгрузка верстата на кар'єрі виконується відповідно до схеми завантаження та розгрузки, розробленої заводом-виробником.

Монтаж верстата виконується в такій послідовності:

а) платформа з кузовом та механізмами встановлюється на гусеничний ходовий механізм та закріплюється на ньому;

б) встановлюється та кріпиться кабіна управління;

в) встановлюється щогли, до якої кріпляться штоки гідроциліндрів підйому та опускання щогли;

г) монтується обладнання (вентиляторні установки, фільтраційна камера та інші) та повітропроводи системи збирання пилу.

Управління верстатом у процесі буріння включає: підготовчі роботи, збірку бурового става, буріння, розбірку бурового става, заміну бурового інструменту.

Підготовчі роботи складаються з операцій, необхідних для підготовки верстату до буріння після встановлення його над місцем буріння свердловини. Вони виконуються в такій послідовності.

Увімкнення насосів гідросистеми. Увімкнення контролюється за спалахом зелених лампочок над кнопками увімкнення насосів. Величина тиску в гідросистемі визначається за показником тиску, встановленим на пульті управління.

Увімкнення клапанів керування гідродомкратами забезпечує горизонтальне розміщення верстату, при цьому спочатку верстат піднімають за допомогою заднього домкрата, а потім горизонтують двома передніми. Необхідно слідкувати за тим, щоб опорні плити гідродомкратів притримувалися до ґрунту всією поверхнею. За потреби поверхня підтримки повинна бути вирівняна. Правильність горизонтування машини перевіряється за допомогою вісі. Після завершення горизонтування вага верстата повинна прийматися гідродомкратами, при цьому опорні катки гусеничних візків повинні бути підняті над нижніми гілками гусениць.

Якщо під час переміщення верстата щогла знаходилась у транспортному положенні, машиніст увімкненням клапана керування встановлює щоглу у вертикальне положення та закріплює її. Після цього щогла за потреби може бути встановлена у нахилі.

Приймальний конус приймача пилу встановлюють на ґрунт. При цьому слід домагатися максимально можливої щільності прилягання конуса та зонту до ґрунту.

Перед початком буріння машиніст бурового верстата повинен переконатися в відсутності дефектів у буровому інструменті (штанги та долотах), а також перевірити, чи не забиті канали для продувки. У випадку потрапляння бруду у канали для продувки, вони обов'язково повинні бути прочищені. Шарошки долота повинні вільно та плавно обертатися на своїх опорах. У випадку застрягання шарошок їх опори слід промити керосином. При виявленні на долоті дефектів, ліквідація яких безпосередньо на верстаті неможлива, необхідно відправити долото до механічної майстерні для їх усунення або на склад для пред'явлення претензій заводу-виробнику. Перед встановленням долота необхідно ретельно очистити та змазати різьбу. Долото закручується до повного закріплення різьбового з'єднання. При спуску долота в пробурену свердловину слід уникати ударів.

### **1.5 Забурювання та буріння свердловини**

Перед операцією забурення ось шпинделя повинна бути збігатися з оссю майбутньої свердловини. Потім вмикають обертання шпинделя та подачу стиснутого повітря, після чого долото повільно підводиться до забою. Забурювання без подачі стиснутого повітря забороняється. При забурюванні в породах, які тріскаються та обвалюються, слід багаторазово обробляти свердловину, піднімаючи та опускаючи буровий інструмент з обертанням та неперервною подачею повітря.

Під час буріння машиніст повинен контролювати параметри процесу буріння, а також роботу всіх агрегатів верстата. Осеве зусилля на забій регулюється за допомогою гідродроселя.

Його величина контролюється за показанням електромережевого приладу, шкала якого відкалібрована в тоннах осьового зусилля. Частота обертання бурового става встановлюється обертанням ручки регулятора швидкості. Контролюється частота обертання за вольтметром, шкала якого відкалібрована в об/хв. Механічна швидкість буріння визначається для заданих конкретних умов буріння (осьовим зусиллям та частотою обертання) та контролюється за показаннями вольтметра (датчика швидкості буріння), одна поділлка шкали якого відповідає механічній швидкості буріння 1 м/год.

Струм навантаження двигуна оберального пристрою визначається параметрами процесу буріння та контролюється за показаннями амперметра.

Крім дотримання параметрів процесу буріння необхідно за показаннями відповідних приладів контролювати роботу всіх агрегатів верстата: роботу компресора за показаннями приладів (тиску масла в системі змащення, тиску повітря та температури масла) на щитку, встановленому в кабіні управління; роботу коробки передач робочого органу за показником датчика тиску масла в системі змащення; роботу гідросистеми за показаннями манометра.

Температура масла в баку контролюється розташованим у баку датчиком температури, сигнал з якого подається на вказівник температури, встановлений на пульті управління.

## **1.6 Особливості процесу буріння нахилених свердловин**

Для буріння нахилених свердловин на верстаті існують спеціальні пристрої - люнети, які утримують буровий став в нахиленим положенні. Конструкція опорних плит домкратів сприяє хорошему зчепленню верстата з ґрунтом та утриманню його від зсуву.

Необхідно відзначити деякі технологічні труднощі нахилених свердловин. У процесі буріння свердловина може відхилитися від заданого напрямку. Крім того, в нахиленим положенні штанга отримує певний прогин, що при значній частоті обертання може викликати вібрацію бурового става та верстата. Вилив нахилених свердловин більш інтенсивно зрушується порівняно з вертикальною. Висока частота обертання шарошкового долота в даному випадку є небажаною.

При проведенні затягуванні різьбових з'єднань бурового става необхідно слідкувати за тим, щоб різьби з'єднаних штанг не зсувалися відносно один одного більше ніж на 5 м і щоб штанга не впиралася в касету.

При проведенні розбиранні става лизки штанги повинні бути паралельні щелепам відводу касети. Співпадіння осей бурового става та відповідної гнізда касети визначається за ризиками на нижньому секторі. Зняття напруги в різьбових з'єднаннях штанг виконується механізмом затягування. Забороняється для цього включати ривками привідний електродвигун. При опусканні вертлюга для його приєднання до наступної штанги необхідно слідкувати за своєчасним відключенням лебідки, не допускаючи провисання підйомного каната.

Для заміни долота на верстатах всіх типів передбачені спеціальні пристрої. Після установки і закріплення в пристрої, долото від'єднується спочатку гідроключем, а потім привідним електродвигуном. Затягування долота з кінцевою штангою виконується її обертанням від привідного електродвигуна при нерухомому долоті.

Управління верстатом під час переїзді: першою та обов'язковою умовою, яку необхідно виконувати при підготовці верстату до переїзду, є кріплення касети до щогли за допомогою механізму блокування, а також надійна фіксація всіх штанг в замках касети. Перед початком пересування верстата необхідно перевірити: чи підняті опорні домкрати та камера для збору пилу системи збору пилу в верхнє положення, а також чи заблокована та на достатню висоту піднята кінцева штанга; натисканням кнопки на портативному пульті управління перевірте: можливість прямого та зворотного ходу гусениць: відсутність тріщин; повороти верстата вправо та вліво. Після цього можна рухатися у визначеному

напрямку, керуючи рухом верстата за допомогою портативного пульта управління.

### **1.7 Догляд за буровим верстатом**

Для правильної експлуатації верстата необхідно знати його конструкцію та призначення окремих механізмів. Всі вимоги до управління, регулювання, змащування та обслуговування верстата повинні виконуватися ретельно та вчасно.

Перед запуском верстата необхідно: перевірити надійність кріплення окремих механізмів між собою та до платформи; налаштувати напругу гусеничних стрічок, роботу гальм приводу гусеничного ходового механізму та лебідки і роботу гідравлічного патрона; перевірити наявність та рівень масла в редукторах, у баці та надійність затяжки ніпелів та з'єднувальних гайок гідросистеми; змастити всі маслянки згідно з показниками по змащуванню; перевірити кріплення каната до вертлюгу та барабану лебідки; а також стан електрообладнання та правильність направлення обертання електродвигунів верстата. Після виконання всіх вказаних вимог можна перейти до запуску верстату.

Управління верстатом в процесі експлуатації полягає у уважному спостереженні за роботою окремих механізмів та за показниками контрольно-вимірювальних приладів. Виявлені ненормальності у роботі механізмів слід негайно усунути; необхідно стежити за температурою оливи в редукторах та гідравлічній системі, а також за нагрівом підшипників; Треба спостерігати за всіма з'єднаннями гідросистеми, не допускаючи в них виток оливи, а також за роботою горизонтуючих гідроциліндрів; після зупинки верстата його слід очистити від бруду, пилу та оливи, а взимку (при низьких температурах) відкачати оливу з гідросистеми та компресорів.

## 1.8 Опис електроприводу

Станок живиться електроенергією від низьковольтної мережі змінного струму напругою 380 В або високовольтної мережі напругою 6000 В за допомогою гнучкого кабелю. Верстати шарошкового буріння мають багатодвигунові приводи. Загальна встановлена потужність електрообладнання верстату СБШ-250МН становить близько 400 кВт. Верстат має головний привід обертового механізму потужністю 68 кВт.

Для живлення електродвигуна обертового пристрою та для продувки свердловини повітряно-водяною сумішшю до обертового механізму підведено гірлянди з електричним кабелем, повітряним і водяними шлангами. Прогинання та пошкодження гірлянди при опусканні та підйомі обертового пристрою усувається спеціальним натяжним механізмом, кінетично зв'язаним з механізмом подачі. Електроенергія до верстату подається гнучким кабелем від низьковольтної мережі змінного струму напругою 380 В.

Привід обертового механізму оснащений двигуном змінного струму. Досить широке поширення отримав асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. Привід подачі бурового інструмента здійснюється гідросистемою, яка містить двигуни мастильної станції. Апаратура управління, захисту та сигналізації складається зі станції управління, панелі автоматів та пускачів пульта управління, поста управління, винесеного пульта управління.

На всіх верстатах є зовнішнє та внутрішнє освітлення. Для ремонтного освітлення є портативна лампа та дві розетки. Трансформатор TV1 типу ТС3–4/0,5 служить для живлення напругою 220 В ланок управління та освітлення верстата, а асиметр АС автоматично відключає ввідний вимикач при однофазних замиканнях на землю. подача живлення в ланки управління здійснюється автоматичним вимикачем QF3, підключення потужних електроприймачів до мережі напругою 380 В – вимикачами А3712, А3114, АП50–3М. Встановлена потужність потужного електрообладнання складає 386 кВт. Три жили гнучкого кабелю КРШК 3x150 + 1x50, що подають напругу 380 В, приєднуються до

кабельного вводу верстату, а четверта заземлююча жила - до його корпусу. Ввідний автоматичний вимикач (QF1) типу А3712 має електромагнітний привід, що дозволяє керувати ним з кабіни машиніста. На верстаті є три пульти: пульт управління процесом буріння – основний, пульт управління компресором і пульт управління ходом. Шафи управління розташовані в машинному відділенні.

## 2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 2.1 Вибір двигуна привода верстата

Необхідна потужність приводу насоса верстата визначається шляхом розрахунку навантаження, що створюється на валу двигуна, виходячи з формули:

$$P = \frac{k \cdot \gamma \cdot Q \cdot H}{\eta_a \cdot \eta_n} 10^{-3} (\text{кВт}) \quad (2.1)$$

де  $Q$  – продуктивність насоса, м<sup>3</sup>/с;  $H$  – напір насоса, м;  $k$  – коефіцієнт запасу;  $\gamma$  – питома вага рідини, Н/м<sup>3</sup>;  $\eta_n$ ,  $\eta_p$  – відповідно ККД насоса і передавального механізму.

Оскільки заводом-виробником надається механічна характеристика насоса UNIGLIDE SDCB 400/50 (рис. 2.1), то можна знайти всі необхідні значення для розрахунку потужності приводу.



Рисунок 2.1 Крива експлуатаційних характеристик насосу типу UNIGLIDE SDCB 400/50

Для прикладу транспортованої речовини візьмемо бензин, питома вага якого приблизно  $7000 \text{ Н/м}^3$ , коефіцієнт запасу приймаємо 1,3. Оскільки ми маємо механічну характеристику насоса, ККД насоса за паспортними даними становить 0,85%, ККД передачі – 0,98%. Таким чином, потужність приводу розраховується за формулою:

$$P = 1,3 \frac{7000 \cdot 0,416 \cdot 50}{0,85 \cdot 0,98} 10^{-3} = 234 \text{ кВт}$$

## 2.2 Розрахунок параметрів схеми заміщення

Розрахуємо параметри асинхронного двигуна для моделювання за вихідними даними, взятими з довідника [1].

Вхідні данні:

1. Тип двигуна: 4A280S6 Y3
2. Номінальна потужність двигуна (P): 75000 Вт

3. Номінальне ковзання (s): 0,02
4. Номінальний  $\cos\varphi$  : 0,89
5. Номінальний ККД: 0,92
6. Число пар полюсів (p): 3
7. Номінальна напруга (U): 380v

Відносні параметри по довіднику 4А:

1.  $X_{\mu} = 3,7$
2.  $R'1 = 0,032$
3.  $R''2 = 0,021$
4.  $X'1 = 0,12$
5.  $X''2 = 0,13$

Розрахунок параметрів схеми заміщення двигуна виконуємо за допомогою програми MathLab.

Вихідні данні:

Коефіцієнти моделі:

- |                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| 1. $K1=66,3074$   | 5. $K5=1,62243$ |
| 2. $K2=1333,9419$ | 6. $K6=4,356$   |
| 3. $K3=849,3422$  | 7. $K7=822,182$ |
| 4. $K4=0,03012$   |                 |

Розраховані параметри:

- |                   |                       |
|-------------------|-----------------------|
| 1. $L_m = 0,0186$ | 6. $L_{sh} = 0,00118$ |
| 2. $R_s = 0,0489$ | 7. $L_{rh} = 0,00118$ |

3.  $R_r = 0,0311$

8.  $K_s = 0,970$

4.  $L_s = 0,0192$

9.  $K_r = 0,968$

5.  $L_r = 0,0192$

### 2.3 Розроблення системи керування електроприводом

Для широкодіапазонних швидкодіючих приводів необхідно застосовувати структуру векторного керування або пряме керування моментом. Найбільш радикальним напрямком удосконалення привода обертового механізму бурового станка є використання векторних систем керування частотними приводами з асинхронним двигуном. У векторній системі складові струму статора ( $i_1$ ,  $i_2$ ) двигуна, орієнтовані за вектором потокозчеплення, визначають відповідно величину модуля потокозчеплення і моменту, що розвивається двигуном. Система володіє високими динамічними показниками та надає двигуну змінного струму властивості, аналогічні властивостям привода постійного струму в перехідних і усталених режимах, і дозволяє в повній мірі використовувати переваги асинхронного двигуна. Раціональна з точки зору технічної реалізації, система векторного керування СВК має як опорний вектор головного потокозчеплення, що забезпечує кращі енергетичні показники.

Усі блоки аналогової системи векторного керування (СВК) реалізуються на операційних підсилювачах (ОП) і множилних комірках. Ці елементи можуть бути створені на базі інтегральних мікросхем широкого застосування: інтегральних підсилювачах К153, К140 і перемножувачах К525 (К159) або УБСР-АІ.

Використання мікропроцесорної техніки дозволяє підвищити якість керування за рахунок реалізації складних законів керування (інваріантність, самоналаштування, оптимізація, адаптація). Мікропроцесор використовується для реалізації регуляторів положення, струму, швидкості, для прямого цифрового керування перетворювачем частоти, для контролю і діагностики стану електроприводу. Однак впровадження систем автоматичного

мікропроцесорного керування процесом буріння стримується відсутністю на поверхні достовірної інформації про забійні параметри.

Непряма оцінка за наземними параметрами часто має надто велику похибку. Крім того, швидкодія сучасних мікропроцесорів має рівень, що обмежує можливості використання.

Векторні системи працюють з узагальненими векторами та їх проекціями на ортогональні осі. Узагальнені вектори дозволяють спростити систему рівнянь асинхронного двигуна та проводити обчислення з їх проекціями як з скалярними величинами. Більшість векторних систем керування включають у себе тригонометричні та фазові перетворювачі. Тригонометричні перетворювачі здійснюють перетворення проекцій узагальнених векторів з однієї системи координат в іншу систему координат. Зазвичай одна система координат є нерухомою і пов'язана зі статором, а інша система координат обертається синхронно з вибраним опорним вектором. Фазові перетворювачі перетворюють трьохфазну систему струмів і напруг в двохфазну систему, а також здійснюють зворотне перетворення. Для проекцій узагальненого вектора струму статора перетворення з нерухомої системи координат  $\alpha$ - $\beta$  в систему координат що обертається 1–2 здійснюється за формулами:

$$\left. \begin{aligned} I_{s1} &= I_{s\alpha} \cos \gamma + I_{s\beta} \sin \gamma, \\ I_{s2} &= I_{s\beta} \cos \gamma - I_{s\alpha} \sin \gamma, \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

де  $\gamma$  - кут повороту системи координат що обертається відносно нерухомої системи.

Перетворення проекцій з систем координат, що обертаються 1–2 в нерухому систему координат  $\alpha$ - $\beta$  здійснюється за формулами:

$$\left. \begin{aligned} I_{s\alpha} &= I_{s1} \cos \gamma - I_{s2} \sin \gamma, \\ I_{s\beta} &= I_{s1} \sin \gamma + I_{s2} \cos \gamma. \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

Для напруг і струмів статора при включенні двигуна в "зірку" перехід від трьохфазної системи до двохфазної системи і навпаки здійснюється за формулами:

$$\left. \begin{aligned} U_{s\alpha} &= U_A, \\ U_{s\beta} &= \frac{1}{\sqrt{3}}(U_B - U_C), \\ I_{s\alpha} &= I_A, \\ I_{s\beta} &= \frac{1}{\sqrt{3}}(I_B - I_C). \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

Перехід від двохфазної системи до трьохфазної виконується за допомогою наступних формул:

$$\left. \begin{aligned} U_A &= U_{s\alpha}, \\ U_B &= -\frac{1}{2}U_{s\alpha} + \frac{\sqrt{3}}{2}U_{s\beta}, \\ U_C &= -\frac{1}{2}U_{s\alpha} - \frac{\sqrt{3}}{2}U_{s\beta}, \\ I_A &= I_{s\alpha}, \\ I_B &= -\frac{1}{2}I_{s\alpha} + \frac{\sqrt{3}}{2}I_{s\beta}, \\ I_C &= -\frac{1}{2}I_{s\alpha} - \frac{\sqrt{3}}{2}I_{s\beta}. \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

Зазвичай систему координат, що обертається орієнтують за вектором потокозчеплення ротора. Функціональна схема електропривода в цьому випадку має найменшу кількість перехресних зв'язків, а вирази для визначення обертового моменту та швидкості відносно прості. При цьому найбільш просто здійснюється регулювання швидкості при стабілізації потокозчеплення ротора. Рівняння короткозамкненого асинхронного електродвигуна, в системі координат, що обертається зі швидкістю вектора потокозчеплення ротора, мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned}
 U_{s1} &= \frac{dI_{s1}}{dt} L'_s + K_r \frac{d\Psi_{rm}}{dt} - I_{s2} L'_s \omega_\psi + R_s I_{s1}, \\
 U_{s2} &= \frac{dI_{s2}}{dt} L'_s + I_{s1} L'_s \omega_\psi + K_r \Psi_{rm} \omega_\psi + R_s I_{s2}, \\
 0 &= \frac{d\Psi_{rm}}{dt} + \frac{R_r}{L_r} \Psi_{rm} - I_{s1} \frac{L_m R_r}{L_r}, \\
 0 &= \beta \Psi_{rm} - \frac{R_r L_m}{L_r} I_{s2}, \\
 M_d &= \frac{mp K_r}{2} \Psi_{rm} I_{s2},
 \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

де  $\beta = \omega_\psi - p\omega$ .

Векторна діаграма представлена на рисунку 2.2. Проекція узагальненого вектора струму статора  $I_s$  на координатну вісь 1 ( $I_{s1}$ ) визначає потокозчеплення ротора. Проекція узагальненого струму статора на вісь 2 ( $I_{s2}$ ) визначає електромагнітний момент двигуна. Таким чином, у векторній системі керування можливе окреме керування магнітним потоком і обертовим моментом

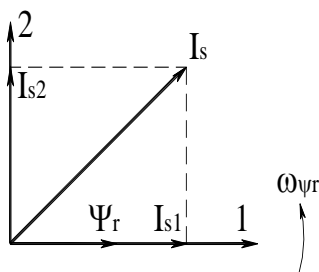


Рисунок 2.2 Векторна діаграма

Система керування повинна стабілізувати магнітний стан двигуна, отже, потік ротора  $\Psi_{rm}$  і струм  $I_{s1}$ . Для вирішення цієї задачі рівняння роторної ланки системи можна представити у наступному вигляді:

$$0 = \frac{R_r}{L_r} \Psi_{rm} - \frac{L_m R_r}{L_r} I_{s1}, \quad (2.6)$$

$$0 = (\omega_{\psi r} - p\omega) \Psi_{rm} - \frac{L_m R_r}{L_r} I_{s2} \quad (2.7)$$



## 2.4 Вибір перетворювача частоти

Дані, які необхідні для розрахунку необхідної потужності векторного перетворювача частоти:

$P_{\partial}$  – розрахункова потужність двигуна, Вт - 75000;

$\eta_{\partial}$  – ККД двигуна, - 0,92;

$P_{спч}$  – розрахункова потужність статичного перетворювача частоти.

Розрахунок потужності:

$$P_{спч} = \frac{P_{\partial}}{\eta_{\partial}} = \frac{75000}{0,92} \approx 81521, \text{ Вт}$$

За проведеним розрахунком отримано, що потужність статичного перетворювача частоти повинна бути не менше 82 кВт; з асортименту, що знаходиться у виробництві, вибираємо ряд апаратів з найближчою більшою до розрахункового значення потужністю. З існуючих у серійному виробництві найбільш відповідним за всіма критеріями є перетворювач частоти з векторним методом керування SINAMICS G120C (6SL3210-1KE31-7UF1)[4]

Частотний регулятор відрізняється компактними розмірами та моноблочною конструкцією, доступний у діапазоні потужностей від 0,55 до 132 кВт. Електропривод Siemens G120C підтримує основні інтерфейси для обміну даними. Для швидкого копіювання параметрів можна використовувати панель оператора ВОР та ІОР або карту пам'яті MMC. Налаштування параметрів за допомогою ПК здійснюється за допомогою програм Sizer та Starter, підключення до ПК відбувається через USB. Можлива установка кількох перетворювачів впритул один до одного. Частотний привод має векторне керування без датчика зворотного зв'язку, автоматичне зниження потоку з ECO U/f.

Пристрій оснащений 6 цифровими та 1 аналоговим входом, а також 2 цифровими та 1 аналоговим виходом. SINAMICS забезпечує безперервну та

енергоєфективну роботу насосів, вентиляторів та компресорів як у постійному режимі, так і в режимі високої динамічної продуктивності. Перевагами є висока точність керування потоком, короткий час відгуку та запобігання шкідливим рівням вібрації та кавітації. У задачах, що потребують високої динаміки та точності, SINAMICS забезпечує точне позиціонування окремих осей та їх узгоджену інтерполяцію, наприклад, при виконанні складних роботизованих завдань.

Характеристики перетворювача частоти з векторним методом керування SINAMICS G120C (6SL3210-1KE31-7UF1)

**Основні технічні характеристики:**

Номінальна потужність (кВт) 90 кВт

Номінальна сила струму (А) 164 А

Номінальна напруга (В) 400 В

Номінальна частота (Гц) Трьохфазне, 380-480 В змін. Струму 47/63 Гц

Частота імпульсів (кГц) 2 кГц

Вихідна частота при векторному регулюванні (Гц) 0,1 ... 240 Гц

Ступінь захисту IP20

Допустимі коливання частоти (%)  $\pm 5\%$

Допустимі коливання напруги (%) від -15% до +10%

Режим керування двигуном Векторний

**Функціональні можливості:**

Інтерфейси зв'язку: Вбудований RS485 для протоколів USS/Modbus RTU, а також можливість підключення додаткових модулів для PROFINET, PROFIBUS, CANopen, EtherNet/IP, USS, Modbus TCP, що робить його гнучким в інтеграції з різними системами автоматизації.

Методи керування: Підтримка вольт-частотного (V/f) та векторного керування без датчика, що дозволяє досягти високої точності і ефективності управління двигуном.



Рисунок 3.1 - Комп'ютерна модель приводу бурового верстата СБШ-250МН

На рисунку 3.1 зображено модель приводу бурового верстата СБШ-250МН. Ця модель демонструє взаємодію всіх компонентів приводу, підкреслюючи їх важливість у забезпеченні ефективної та безперебійної роботи бурового верстата СБШ-250МН.

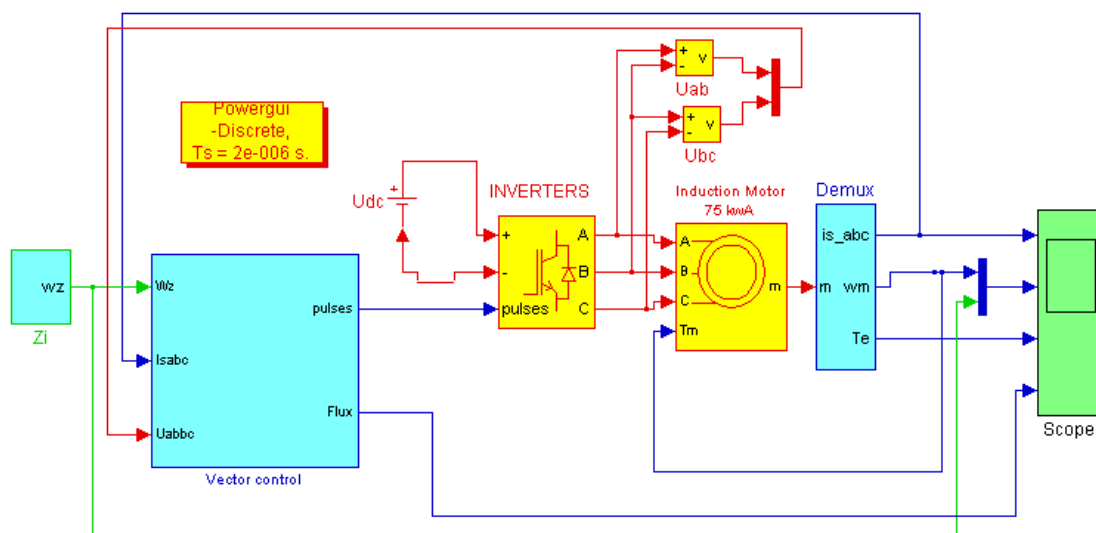


Рисунок 3.2 - Комп'ютерна модель векторної системи керування приводом

Рисунок 3.2 представляє комп'ютерну модель блоку векторного керування електроприводом асинхронного двигуна. Ця модель демонструє принципи роботи векторного керування асинхронним двигуном, забезпечуючи високу точність керування.

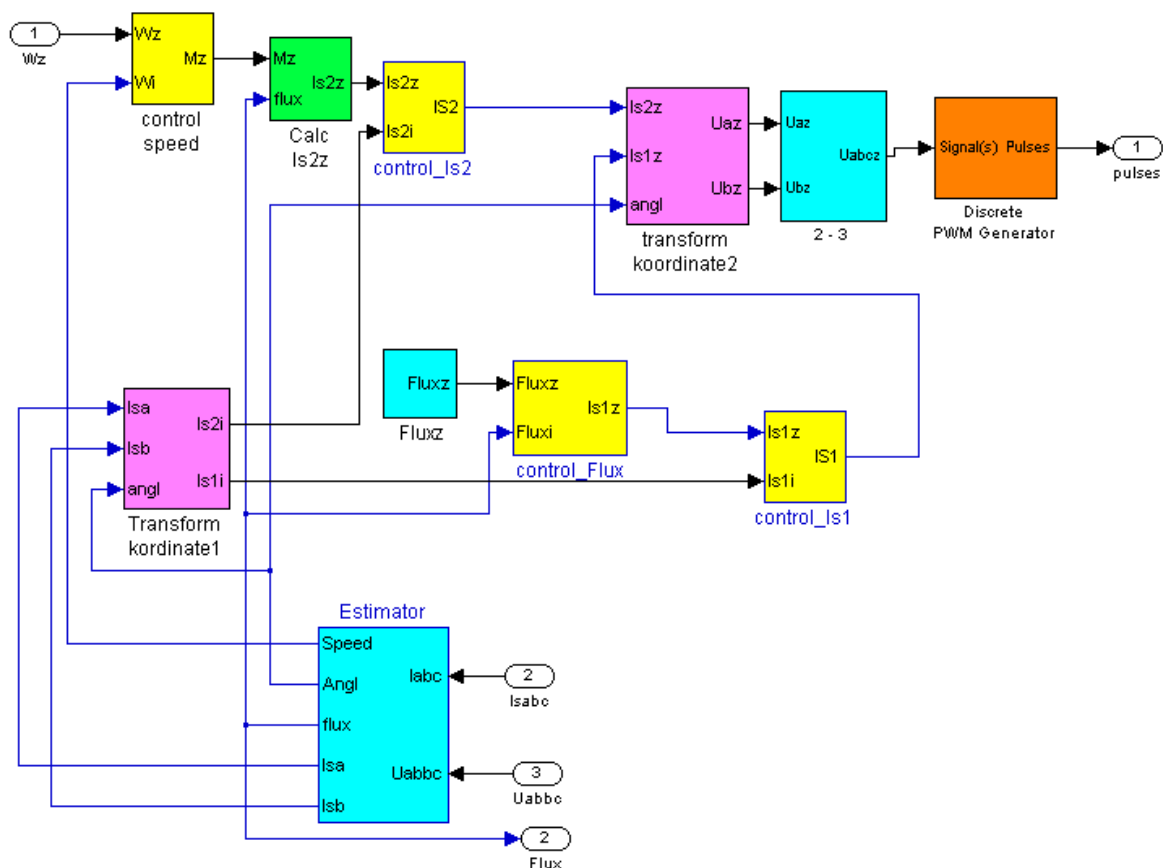


Рисунок 3.3 - Комп'ютерна модель блоку векторного керування

Рисунок 3.3 представляє комп'ютерну модель блоку векторного керування, яка включає різні компоненти та їх взаємодію для забезпечення точного керування електроприводом. Ця модель показує складну систему керування, яка використовує векторні методи для точного регулювання параметрів електропривода.

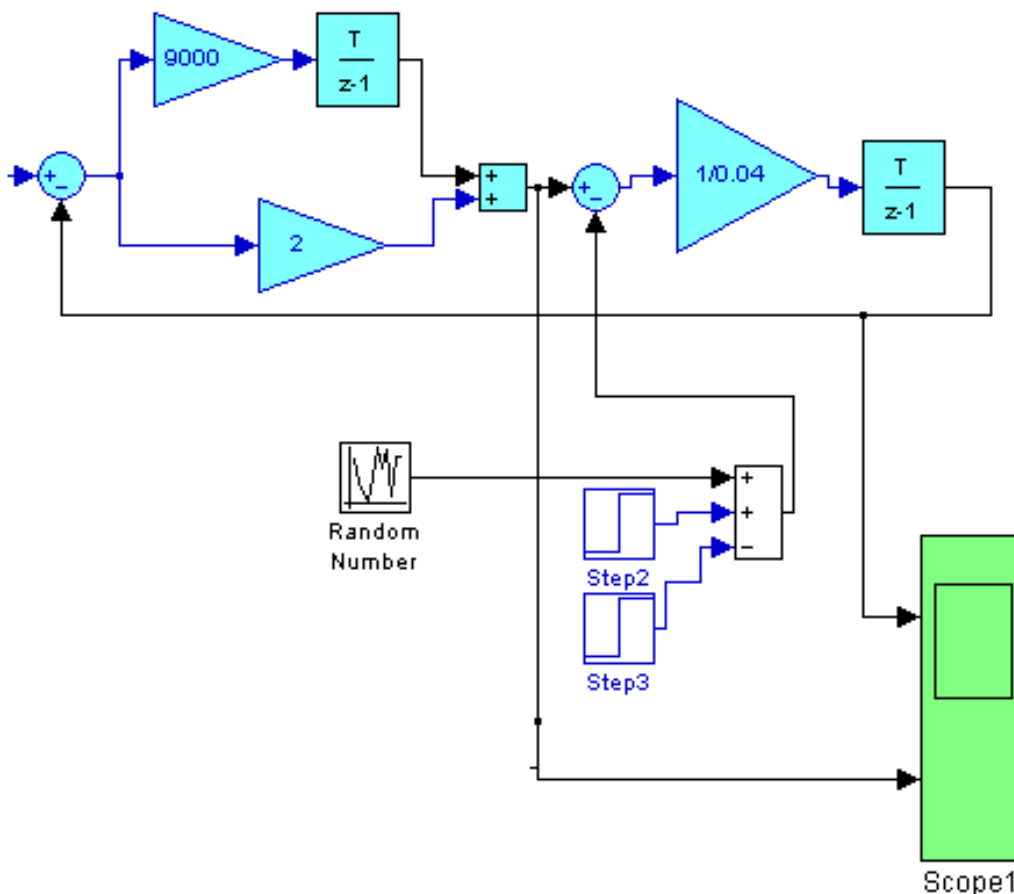


Рисунок 3.4 - Комп'ютерна модель механічної частини приводу

Рисунок представляє схему цифрової системи керування, яка використовує дискретні елементи та включає генерацію випадкових чисел. Ця модель ілюструє цифрову систему керування, яка використовує підсилювачі, суматори, блоки затримки та генератори сигналів. Вона призначена для вивчення поведінки системи відповідно до різних входніх впливів, зокрема випадкових перешкод і дискретних подій.

Ця модель ефективно моделює основні блоки керування електроприводом, що дозволяє аналізувати їхню взаємодію та відповідь на зовнішні впливи. У розділі 3.2 буде надано більш детальне пояснення кожного елемента комп'ютерної моделі, що дозволить краще зрозуміти їхню роль у системі керування електроприводом.

### 3.2 Склад комп'ютерної моделі

Задавач інтенсивності:

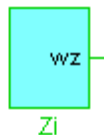


Рисунок 3.5 - Задавач інтенсивності

Задавач інтенсивності призначений для розгону двигуна до необхідної частоти обертання з необхідною інтенсивністю та захисту від допустимого струму.

Блок дискретизації:

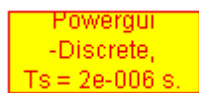


Рисунок 3.6 - Блок дискретизації

У цьому блоці ми задаємо період дискретизації.

Блок векторного управління:

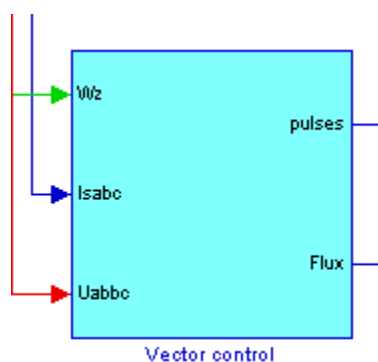


Рисунок 3.7 - Блок векторного управління

Призначена для керування двигуном і для відпрацювання збуджуючих впливів

Джерело постійної напруги:

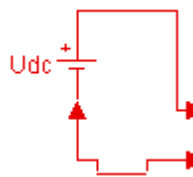


Рисунок 3.8 - Джерело постійної напруги

Джерело постійної напруги – спрощена модель випрямляча, що перетворює змінну напругу мережі на постійну напругу, що подається на ШІМ-інвертор.

ШІМ-інвертор:

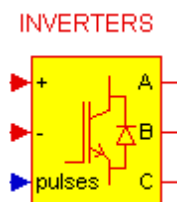


Рисунок 3.9 - ШІМ-інвертор

Інвертори з широтно-імпульсною модуляцією на основі IGBT-транзисторів використовуються у всіх перетворювачах частоти, що застосовуються у приводах із глибоким регулюванням швидкості.

Двигун:

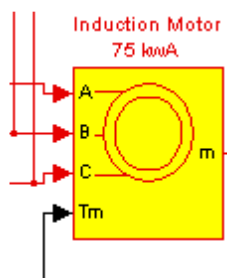


Рисунок 3.10 - Двигун

Блок асинхронної машини працює або в генераторному або режимі двигуна. Режим роботи описується знаком механічного моменту (позитивний двигуна, негативний для генератора).

Блок Demux:

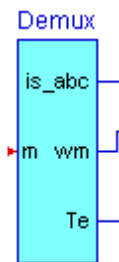


Рисунок 3.11 Блок Demux

У цьому блоці сигнал, що надходить з двигуна, розділяється на кілька визначених сигналів.

Осцилограф:

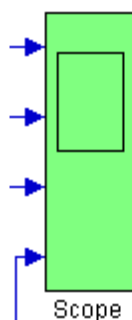


Рисунок 3.12 Осцилограф

Осцилограф призначений для виведення перехідних процесів, що виникають при роботі моделі установки, на екран монітора.

Блок випадкового числа:

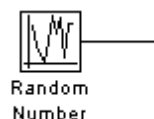


Рисунок 3.13 Блок випадкового числа

У цьому блоці ми задаємо певні значення для імітації обертання долота.

Блок Step:

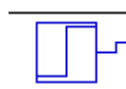


Рисунок 3.13 Блок Step

У цьому блоці ми задаємо значення часу спрацювання.

Блок дискретного інтегрування:

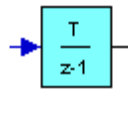


Рисунок 3.14 Блок дискретного інтегрування

Призначений для перетворення сигналу, що надходить на нього.

Блок Gain:

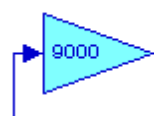


Рисунок 3.15 Блок Gain

Використовується для визначення необхідного коефіцієнта демпфування для зменшення коливань.

Суматор:



Рисунок 3.16 Суматор

Призначений для сумування двох вхідних сигналів і перетворення їх в одиничний.

Датчики напруги:

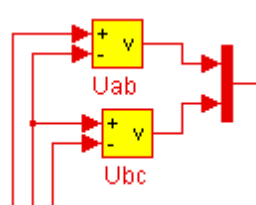


Рисунок 3.17 Датчики напруг

В цих блоках лінійні напруги між двома фазами перетворюються у фазові напруги.

## Блок Discrete PWM Generator

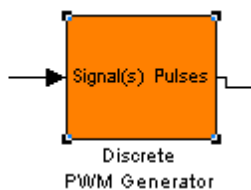


Рисунок 3.18 Блок Discrete PWM Generator

Дискретний генератор ШІМ призначений для створення керуючих імпульсів інвертором шляхом порівняння сигналів задання з пилоподібною напругою всередині генератора.

Блок керування струмом:

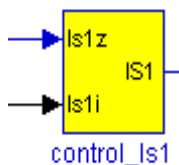


Рисунок 3.19 Блок керування струмом

У цьому блоку записуються коефіцієнти інтегральної та пропорційної складових струму.

Блок оцінки:

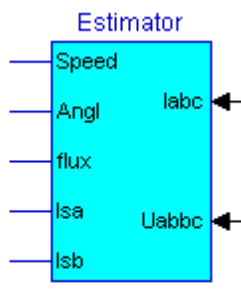


Рисунок 3.20 Блок оцінки

Цей блок призначений для автоматичного відновлення координат або стану двигуна у випадку, коли деякі вхідні або вихідні параметри стають недоступними або втрачають своє значення. Це важливо для забезпечення безперебійної роботи системи керування навіть у випадках втрати сигналу чи інших вимкнень.

Блок перетворення координат:

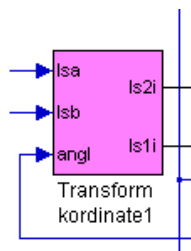


Рисунок 3.21 Блок перетворення координат

Служить для перетворення сигналів з однієї системи координат в іншу. Зазвичай, одна система координат є нерухомою і пов'язана з статором, а інша система координат обертається синхронно з вибраним опорним вектором.

Регулятор швидкості:

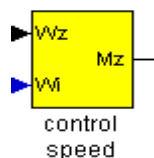


Рисунок 3.22 Регулятор швидкості

У цьому блоку ми зменшуємо відхилення швидкості від заданого значення в момент виникнення збурень.

Блок задання потоку:

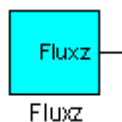


Рисунок 3.23 Блок задання потоку

У цьому блоку ми фіксуємо значення потоку, після здійснення прямого запуску визначаємо і набираємо номінальний момент.

Блок керування магнітним потоком:

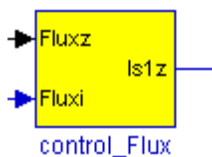


Рисунок 3.24 Блок керування магнітним потоком

#### 4 РОЗРАХУНОК НАЛАШТУВАНЬ РЕГУЛЯТОРА

При дослідженні систем векторного управління асинхронним короткозамкнутим двигуном зі стабілізацією амплітудного поля в зазорі машини застосовується спрощена система диференціальних рівнянь (у координатах, що обертаються), яка описує процеси в машині, живлені від ідеалізованого перетворювача частоти:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}|\Phi_0| &= -\frac{(1-K_s)r_R}{(1-K_sK_r)L_r}|\Phi_0| + \frac{K_s(1-K_s)}{1-K_sK_r}U_{s1} + \frac{L_m\rho_0\omega i_2(1-k_s)(1-k_r)}{1-k_s k_r} \\ \frac{d}{dt}i_2 &= -\frac{r_s+k_r k_R}{(1-k_s k_r)L_s}i_2 + \frac{1}{(1-k_s k_r)L_s}U_{s2} - \frac{\rho_0\omega|\Phi|}{(1-k_s k_r)L_s} \\ \frac{d}{dt}\omega &= \frac{3}{2} \times \frac{P_0}{J}|\Phi_0|i_2 - \frac{1}{J}M_c, \end{aligned} \quad (4.1)$$

$K_s = L_m/L_s$  - коефіцієнт потокозчеплення статора;

$K_r = L_m/L_r$  - коефіцієнт потокозчеплення ротора;

$r_s, r_R$  - активний опір статора та ротора;

$L_s, L_r$  - індуктивність ротора та статора;

$L_m$  - Взаємна індуктивність між обмотками статора та ротора.

$\rho_0$  - число пар полюсів;

$\omega$  - частота обертання ротора;

$|\Phi|$  - Модуль головного потокозчеплення;

$U_{s1}, U_{s2}$  - Складові напруги статора в системі координат, яка обертається, що жорстко пов'язана з головним потокозчепленням;

$i_2$  - Складова загального вектора струму статора по ординаті в обертовій системі координат.

$M_c$  - Момент опору

$J$  - Динамічний момент інерції

У цій системі виключені нелінійні доданки, які мають невеликий "відносний



## 4.2 Розрахунок регуляторів

Розрахунок регуляторів системи векторного управління частотними приводами може використовувати методику, аналогічну методиці розрахунку для приводів постійного струму. Розрахунок параметрів регуляторів починається з каналу керування модулем головного потокозчеплення.

Контур стабілізації магнітного потокозчеплення виконаний з використанням ПІ-регулятора РП налаштуваннями

$$W_{\text{III}}(p) = \frac{(k_2/k_1)p+1}{(1/k_2)p} = \frac{T_c \cdot p+1}{T_I \cdot p} \quad (4.1)$$

де  $T_I = 1/k_2$  – постійна часу інтегратора

$T_c = k_1/k_2$  - постійна часу налаштування

### Контур керування потокозчепленням

Передаткову функцію відкритого каналу керування головним магнітним потокозчеплювачем ми отримуємо, обираючи  $k_1/k_2 = T_{\Psi}$

$$W'_{\Psi}(p) = \frac{k_2((k_1/k_2)p+1)k_{\Psi}k_m k_m}{p(T_{\mu}p+1)(T_{\Psi}p+1)}, \quad (4.2)$$

Налаштування на технічний оптимум визначає коефіцієнт

$$k_2 = \frac{1}{2T_{\mu}k_m k_m k_m}. \quad (4.3)$$

### Контур керування струмом

У контурі складової струму  $i_2$  каналу регулювання швидкості використовується ПІ-регулятор РС.

$$W_{\text{III}}(p) = \frac{(k_3/k_4)p+1}{(1/k_4)p} = \frac{T_c \cdot p+1}{T_I \cdot p} \quad (4.4)$$

налаштовується на технічний оптимум за допомогою наступних параметрів:

$$k_4 = 1/(2 \cdot T_m \cdot k_i \cdot k_m \cdot k_{di}), k_3/k_4 = T_i, \text{ при } T_i > T_m, T_m = T_a, T_i = T_b; (4.5)$$

$$k_4 = 1/(2 \cdot T_i \cdot k_i \cdot k_m \cdot k_{di}), k_3/k_4 = T_m, \text{ при } T_i < T_m, T_i = T_a, T_m = T_b. (4.6)$$

Передаткова функція відкритого контуру має вигляд:

$$W_i'(p) = \frac{1}{2T_a p (T_a p + 1)}. (4.7)$$

### Контур керування швидкістю

Передаткова функція «об'єкта регулювання» в контурі керування швидкістю

$$W_{oi}(p) = \frac{C_m \cdot k_\omega \cdot |\Psi_0|}{k_{di} \cdot j \cdot (T_T \cdot p + 1) \cdot p} = \frac{k_m}{j \cdot (T_T \cdot p + 1) \cdot p} (4.8),$$

де  $k_m = C_m \cdot k_\omega \cdot |\Psi_0| / k_{di}$ .

У разі використання П-регулятора швидкості, його передаткова функція буде:

$$k_{rv} = \frac{j \cdot k_E}{C_m \cdot k_\omega \cdot 4 \cdot T_a \cdot |\Psi_0|} (4.9)$$

Припускаючи, що для приводів з помірною динамікою, до яких відноситься даний привід, магнітний потік (модуль потокозчеплення  $|\Psi_0| = 1$ ) змінюється не дуже значуще отримаємо передаткову функцію розкритого контура регулювання швидкості:

$$W'_\omega(p) = \frac{(k_5 \cdot p/k_6 + 1) \cdot k_6 \cdot k_m}{j \cdot p^2 \cdot (T_T \cdot p + 1)} (4.10)$$

Під час налаштування на технічний оптимум маємо:

$$k_6 = \frac{j}{8 \cdot T_T^2 \cdot k_m}; \frac{k_5}{k_6} = T_{em} \quad (4.11),$$

Де  $T_{em} = j / C_m \cdot |\Psi_0| \cdot k_i$  – електромеханічна постійна часу.

Контур керування швидкістю з ПІ-регулятором може бути налаштований за умовами симетричного оптимуму (при  $T_{em} > 4 \cdot T_a$ )

$$k_6 = \frac{j}{32 \cdot T_a^2 \cdot k_m}; \frac{k_5}{k_6} = 8 \cdot T_a \quad (4.12).$$

Отримані налаштування регуляторів:

$$\frac{K_1}{K_2} = 1,26; \frac{1}{K_2} = 0,37;$$

ПІ-регулятора струму  $i_2$

$$\frac{K_3}{K_4} = 0,24; \frac{1}{K_4} = 0,056;$$

Коефіцієнт передачі ПІ-регулятора швидкості за умовами технічного оптимуму

$$K_{rw} = 12$$

Параметри передачі ПІ-регулятора швидкості згідно з умовами технічного оптимуму

$$\frac{K_5}{K_6} = 0,011; \frac{1}{K_6} = 0,0009;$$

Параметри передачі ПІ-регулятора швидкості за умовами симетричного оптимуму

$$\frac{K_5}{K_6} = 0,008; \frac{1}{K_{6c}} = 0,0007;$$

## 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ

### 5.1 Моделювання перехідних процесів.

Ілюстрація перехідних процесів у буровому станку зображена на рисунку 5.1 та 5.2

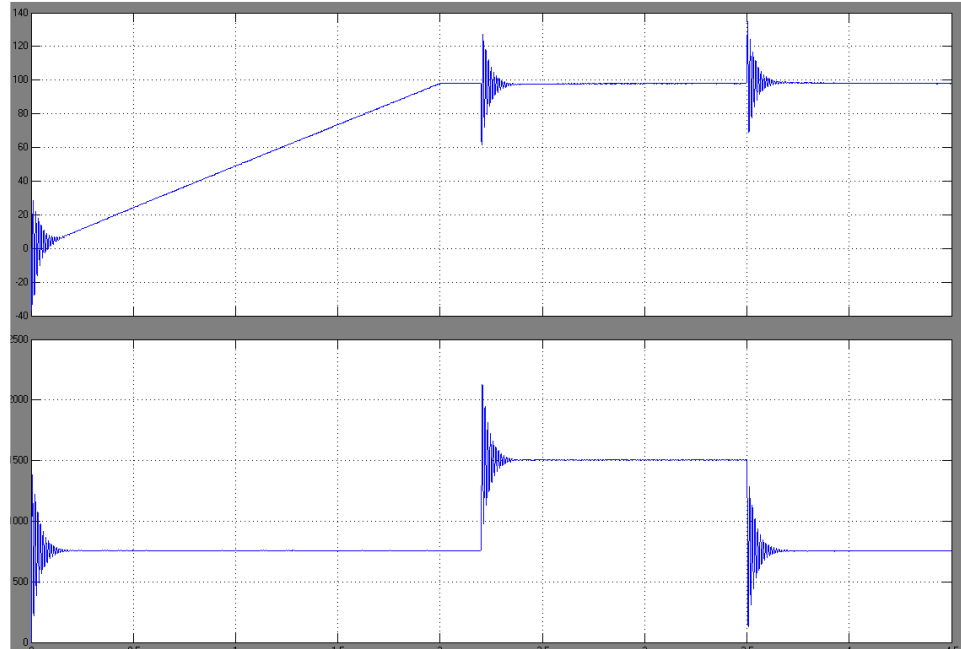


Рисунок 5.1 Перехідні процеси механічної частини електропривода

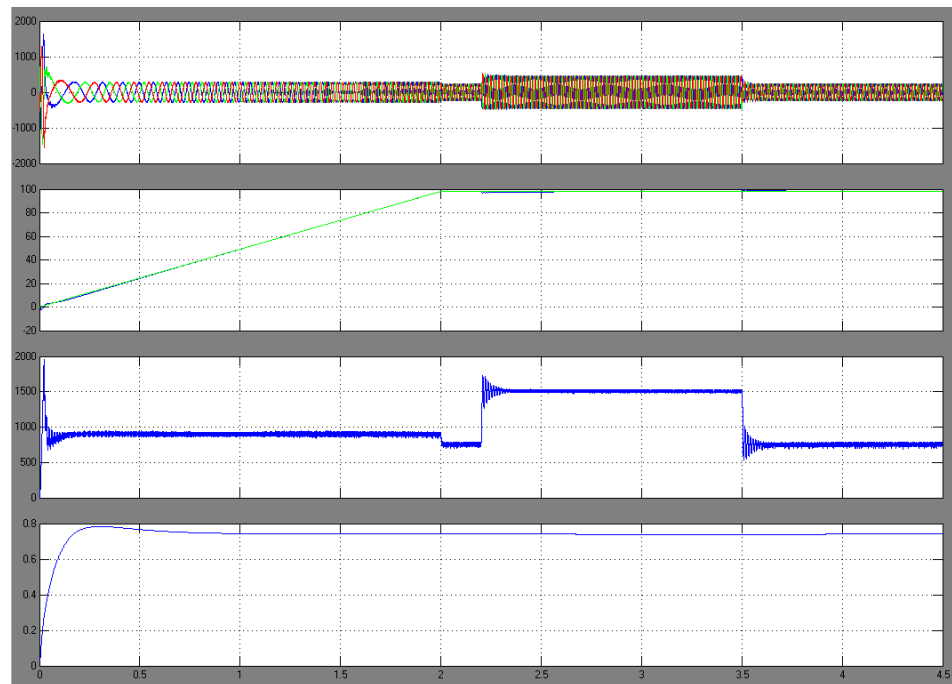


Рисунок 5.2 Перехідні процеси в електроприводі бурового верстату  
СБШ-250МН.

## 5.2 Аналіз перехідних процесів, отриманих в результаті моделювання

Перехідні процеси, отримані в результаті моделювання, показані на рисунку 5.1 та рисунку 5.2. У цьому розділі розглядається запуск двигуна з номінальним моментом та часом розгону 2 секунди. Встановлена швидкість обертання становить 98 рад/с. Через 0,2 секунди після досягнення встановленої швидкості, на систему впливає подвійне навантаження, що симулює реальні умови експлуатації.

Моделювання показує, що при впливі подвійного навантаження, система реагує адекватно, підтримуючи стабільність обертання. Максимальна похибка за швидкістю  $\omega$  не перевищує 5% (1,2%), що є прийнятним показником і відповідає вимогам до приводу обертання бурового верстату. Це свідчить про високу точність і надійність приводу у критичних умовах.

Аналіз перехідних процесів також показує, що двигун має добрі динамічні характеристики, швидко відновлює стабільність обертання після виникнення навантаження. Таке поведіння є надзвичайно важливим для бурового верстату, де стабільність і точність обертання відіграють ключову роль у забезпеченні ефективності та безпеки робочого процесу.

Таким чином, результати моделювання підтверджують, що обраний привід здатен забезпечити необхідні технічні характеристики при запуску та експлуатації в умовах змінних навантажень. Це робить його надійним рішенням для використання в бурових установках, де високі вимоги до точності та стабільності є критичними.

## 5.3 Програма для мікроконтролера

Для загального керування приводом використовується мікроконтролер фірми Siemens серії S7-400.[10]

Цей контролер створено для автоматизованих систем управління, які вирізняються високою надійністю. Завдяки резервованій структурі він може продовжувати роботу навіть при відмові одного чи кількох компонентів. Зазвичай такі системи використовуються на виробництвах, де прості призводять до значних економічних втрат.

Контролери S7-400 працюють на базі процесора CPU 410E. CPU 410E базується на апаратній платформі CPU 410-5H і не поступається йому в міцності конструкції без вентилятора та високих стандартах якості. Цей контролер також можна налаштувати для використання в додатках, що вимагають високої доступності або підвищеної безпеки. CPU 410E здатний обробляти до 200 процесорних об'єктів (ПО).

Схема зовнішніх підключень представлена на рисунку 5.3, який можна використовувати самостійно або з підключеними до нього додатковими модулями розширення системи вводу-виводу.

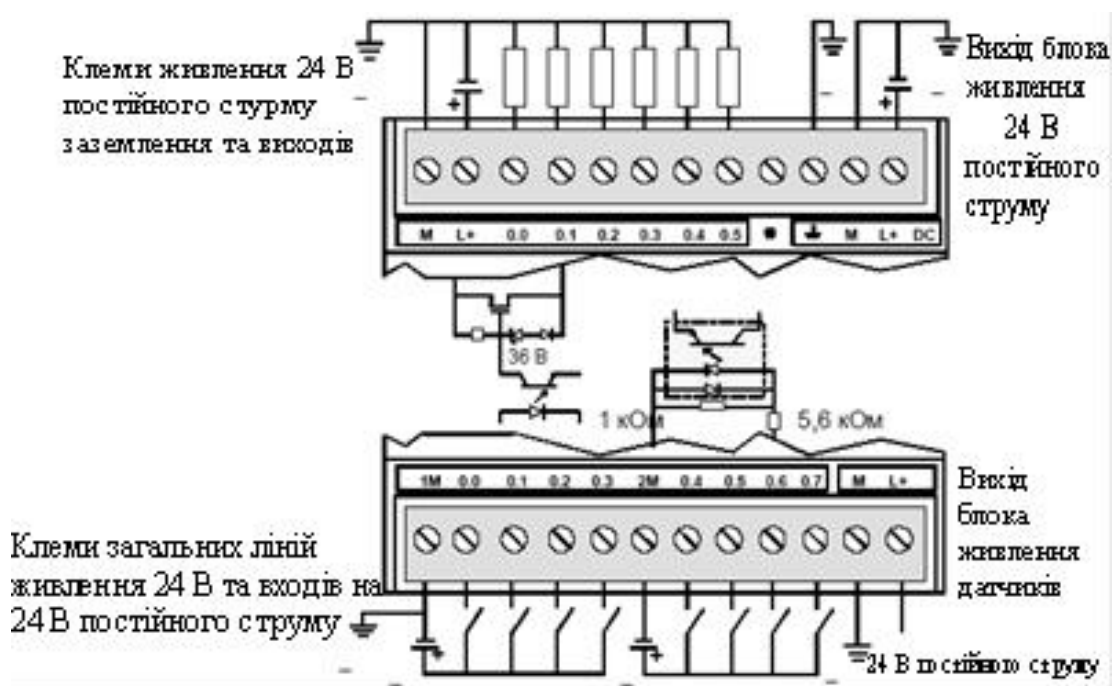


Рисунок 5.3 Функціональна схема мікроконтролера S7-400

Відповідно до завдання, для функціональної реалізації алгоритму керування запуском привода на мікроконтролері S7-400 розроблена програма за допомогою прикладної програми STEP 7-Micro/WIN V3.2 (V3.2.1). Ця програма забезпечує комплексне керування приводом, включаючи кілька ключових етапів роботи. Мікроконтролер, вбудований у систему керування, згідно з програмою здійснює наступні функції:

**Перевірка блокувань:** Перед запуском привода система виконує перевірку наявності можливих блокувань. Це включає перевірку всіх датчиків та сигналів безпеки, щоб переконатися, що немає перешкод для безпечного запуску привода.

Запуск привода: Після успішної перевірки блокувань мікроконтролер запускає привід. Програма налаштовує привід на роботу із заданою інтенсивністю розгону, що забезпечує плавний та контрольований запуск. Це особливо важливо для уникнення перевантажень та зносу механічних компонентів.

Гальмування: В процесі роботи привода може виникнути потреба у його зупинці. Програма передбачає гальмування з певною інтенсивністю, що дозволяє зупинити привід плавно та без ривків. Це допомагає зберегти робочі характеристики та продовжити термін служби привода.

Зупинка: Після завершення роботи або у разі аварійної ситуації мікроконтролер здійснює повну зупинку привода. Це включає відключення живлення привода та приведення системи у безпечний стан.

Таким чином, розроблена програма забезпечує надійне та ефективне керування приводом, враховуючи всі необхідні аспекти безпеки та функціональності. Використання STEP 7-Micro/WIN V3.2 (V3.2.1) дозволяє реалізувати цей алгоритм з високим рівнем точності та надійності, що є критично важливим для стабільної роботи всієї системи керування. До контролера підключено кнопку «пуск» (вхід I0.0), кнопку «стоп» (вхід I0.1) та контакти блокувань (входи I0.2, I0.3). Виходи контролера Q0.1, Q0.2 з'єднані з сигнальними лампами. Вихід контролера Q0.0 керує магнітним пускачем привода. Аналоговий вихід контролера AQW0 є сигналом завдання за швидкістю для системи керування автономним інвертором.

Сама програма мікроконтролера зображена на рисунку 5.4.

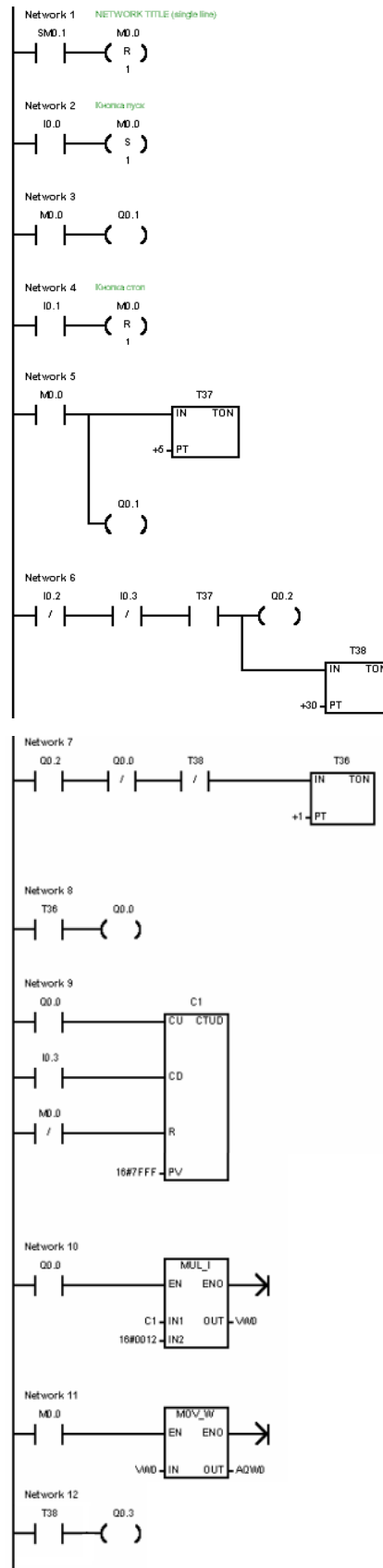


Рисунок 5.4 Програма мікроконтролера S7-400

## Висновок

Розглянуті принцип дії та будова верстатів шарошечного буріння у представленій бакалаврській роботі. Розроблена система управління електроприводом бурового верстата СБШ-250МН. Був обраний привідний електродвигун типу 4А280S6 Y3. Обрано перетворювач частоти типу SINAMICS G120C (6SL3210-1KE31-7UF1).

Проведено моделювання електроприводу з векторним керуванням. Була розроблена і реалізована, за допомогою пакету програм MATLAB, система управління електроприводом бурового верстату з асинхронним двигуном.

В процесі дослідження було вивчено та аналізовано особливості електромеханічних систем, методи моделювання та синтезу контролерів асинхронних двигунів. Розроблена система демонструє високу надійність і ефективність у реальних умовах експлуатації, що підтверджується результатами експериментальних випробувань.

Частотне управління двигунами змінного струму є економічним, оскільки воно дозволяє зберегти високий ККД двигуна, забезпечує як двигунові, так і гальмівні режими роботи, має хорошу жорсткість характеристик і, що найголовніше, дозволяє використовувати в якості привідного асинхронний короткозамкнений двигун.

Отримані результати свідчать про можливість використання запропонованої системи в індустріальних застосунках, що сприятиме підвищенню продуктивності та зниженню витрат енергії у процесі шарошечного буріння. Подальші напрямки досліджень можуть включати оптимізацію системи управління з метою ще більшого покращення її ефективності та ресурсу.

У цілому, розроблений асинхронний електропривід представляє собою значний крок у напрямку вдосконалення технологій буріння свердловин, забезпечуючи необхідні технічні та економічні переваги для індустрії.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шефер, В.В. Електричні машини: навчальний посібник / В.В. Онушко, О.В. Шефер. – Полтава, ПолтНТУ, 2015. – 536 с.
2. Siemens. About Siemens [Електронний ресурс] / – Режим доступу до ресурсу: <https://new.siemens.com/global/en/company/about.html>
3. Навчально-науковий центр Siemens [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://nupp.edu.ua/news/siemens-ukraine-vidkrila-v-poltntu-unikalniy-navchalno-naukoviy-tsentr.html>
4. 6SL3210-1KE31-7UF1 [Електронний ресурс] / – Режим доступу до ресурсу: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6SL3210-1KE31-7UF1>
5. Основи комп'ютерного моделювання: навч. посібник / М.С. Барабаш, П.М. Кір'язєв, О.І. Лапенко, М.А. Ромашкіна. 2-е вид. стер. – К.: НАУ, 2019. – 492 с.
6. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ, НТУУ «КПІ», 2016. – 150 с.
7. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. Підручник. – К: Либідь, 2007, – 656с.
8. EEP - Electrical Engineering Portal [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://electrical-engineering-portal.com/>
9. Голодний І.М., Червінський Л.С., Жильцов А.В., Санченко О.В. Романенко О.І. Моделювання регульованого електропривода: Підручник. – К.: Аграр Медіа Груп, 2019. – 266 с.: іл.
10. SIMATIC S7-400 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/systemy-avtomatyzatsiyi/systemy-promyslovoyi-avtomatyzatsiyi-simatic/plc-kontrolery-simatic/simatic-s7-400.html>
11. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посібник для вищ. навч. закл., за ред. Поповича М.Г., Лозинського О.Ю. – К.:Либідь, 2005. – 678 с.

### **1.1 The principle of operation of rotary drilling rigs.**

The principle of operation of rotary drilling rigs is similar to the principle of auger drilling rigs: the machine rotates the drilling tool while simultaneously feeding it into the rock face. However, instead of a cutting crown, these machines are equipped with roller cone bits, which require significantly higher axial forces, approximately 200-300 kN, for successful operation. Additionally, intensive cleaning of the borehole and cooling of the bit are necessary, typically achieved through compressed air flushing.

The relative share of rotary drilling in the total drilling volume is approximately 70%. In coal mines, rotary drilling rigs make up approximately 40% of the entire fleet of rigs. In the horizontal position, the rig is secured using three hydraulic jacks. The tower can be fixed in three positions (vertical, at an angle of 15°, and at an angle of 30° to the vertical) using a special mechanism. Tilting of the tower and its transfer to the transport (horizontal) position are carried out using two hydraulic cylinders, hinged to the tower supports. The operations of lowering and raising, as well as screwing and unscrewing of bits and rods, are mechanized. The borehole is cleaned using an air-water mixture. The rig is equipped with an air ventilation system with heating and humidification of the air. The feeding mechanism is cable-hydraulic, which ensures the movement of the rotary mechanism along the tower for the length of the rod (8 m).

### **1.2 The structure of a rotary drilling rig**

In the front section of the machinery compartment, there are installed electrical control cabinets, an oil pumping station, a hydraulic unit block, water pumps, and other auxiliary equipment. In the rear section, two screw compressors and two cable drums for automated laying of power cables are located. The operator's cab adjoins the front section of the machinery compartment. In the cab, there is a control panel, a wardrobe for special clothing, two seats, and a cabin heater. On the consoles of the right side of the machinery compartment frame, a water tank is installed. Between the cabin and the water tank, a tower for the machine is installed on two brackets.

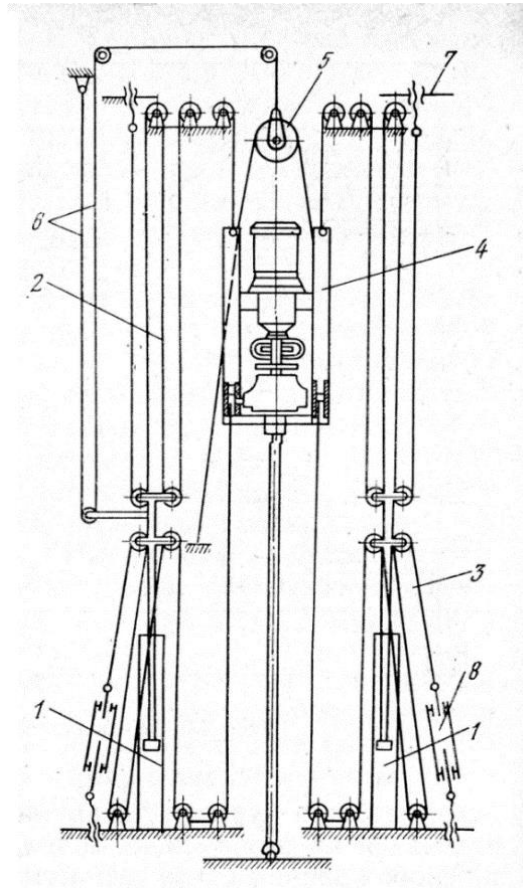


Figure 1.1 - SBSH-250MN machine handle

The drill string is driven by a DC motor through a gearbox and a rubber-cord toothed coupling. The motor and gearbox are suspended on the cables of the feed system and move along the guides of the tower following the support node of the drill string. The stroke of the hydraulic cylinder pistons, which is 2 meters, ensures continuous feeding of the rotary device for 8 meters, which is the length of the rod. The cable-pulley system consists of upper and lower cables, the ends of which are connected to the carriage of the rotary mechanism. When the cylinder rods move upward, the lower cables are tensioned. When the rotary mechanism moves downward, the hydraulic cylinders exert a force of 300 kN.

To tension the garland, a movable carriage is used, which, with the help of cable 6 connected to the rod of one of the cylinders, rises or lowers according to the rotary mechanism, but travels half the distance. The cable tension is adjusted using adjusting bolts or couplings.

The main working equipment of the SBSH-250MN drilling rig is mounted in the tower, which, together with all the equipment, is suspended on special supports attached to the structural elements of the machinery compartment. All drilling process operations are performed using mechanisms mounted in the tower: rotating the drilling tool, applying axial force to the tool, lowering and raising the drilling tool, assembling and disassembling the drill string, and supplying an air-water mixture to the borehole.

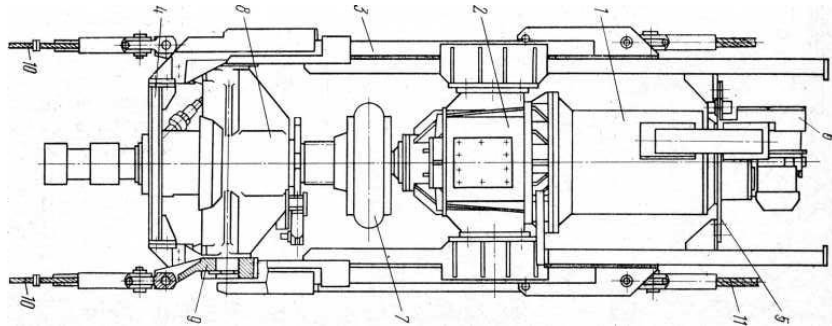


Figure 1.2 - Rotary Mechanism of the SBSH-250MN Drilling Rig

The main structural component of the tower is its frame - a welded steel structure made of beams and angles. Using bushings, the tower rests on the frame of the machinery compartment and can be installed in a vertical, inclined, or horizontal position with the help of two hydraulic cylinders, the rods of which rest on a beam. Inside the frame, guiding beams are fixed, along which the rotary mechanism and tension carriage, suspended from the beam and supporting the garland, move during drilling. On one side of the tower frame, a cassette is attached with four brackets, in which three drill rods are installed. The mechanism for screwing the rods is located on the lower belt of the tower frame. The lower end of the tower is covered with a shield to prevent dust and drilling debris from entering the screwing mechanism. A hydraulic unit block is provided for supplying the hydraulic cylinders of the cassette and screwing mechanism. Bushings for supporting the rods during drilling inclined wells, installation for diverting drilling debris from the borehole, and a winch are directly installed on the mast. The mast is equipped with steps for inspection, maintenance, and servicing.

The rotary mechanism of the SBSH-250MN drilling rig is designed to rotate the drill string and transmit axial force to it. The drive of the rotary device is powered by

a direct current motor. The motor is attached directly to a specially designed gearbox with its flange.

The rotation speed of the drill string is controlled by changing the rotation speed of the motor of the rotating mechanism. Carriages, attached to the gearbox housing and fitting into the guiding beams of the handle, ensure the fixation of the rotating mechanism as it moves along the handle. The ends of the carriages are connected by a crossbeam and a flange, on which a fan is installed for motor cooling.

A shaft-hub coupling is installed on the output shaft of the gearbox, which connects it to the spindle of the support node. Axles are attached to the bearings of the support node, to which the cables of the feed mechanism are fastened. The lifting of the rotary device is carried out by means of cables.

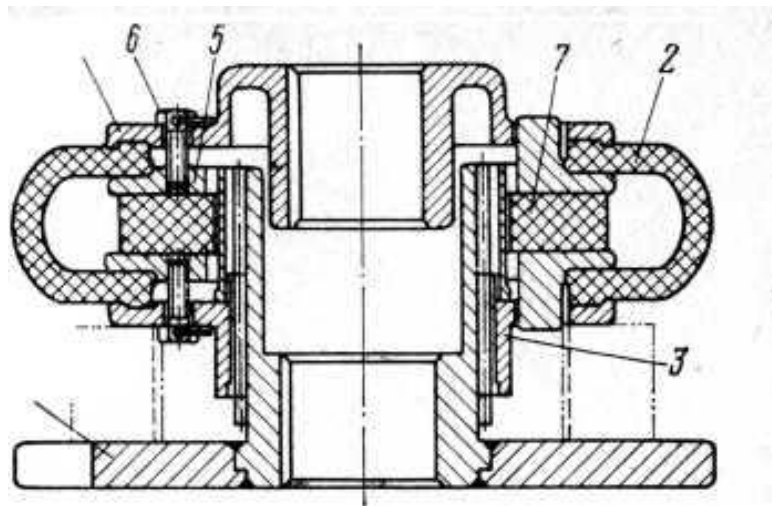


Figure 1.3 - Gear Coupling

The reducer of the rotary mechanism is a two-stage, single-speed, special design with a total gear ratio of 11.05.

In the welded housing with a cover, shaft-gear and output shaft with gear wheel are installed on roller bearings. The torque transmission from the motor shaft is carried out through the toothed half-coupling and the gear ring. Gaskets with drains are welded into the cover of the reducer for bearing lubrication. Inspection of the gear wheels and oil filling are carried out through a window covered with a lid. An opening, closed with a valve, is provided for draining used oil.

The gear coupling is designed to protect the reducer and the motor of the rotary mechanism from vibration and to transmit torque from the output shaft of the reducer to the spindle of the support node. The half-coupling, connected to the output shaft of the reducer, is connected via an elastic cord shell and a toothed half-coupling with splines to the half-coupling sitting on the spindle of the support node. The elastic shell is pressed against the half-coupling and half-rings by bolts. A rubber ring is installed between the half-rings. The support node serves to transmit axial force from the feed mechanism to the drill string and to supply an air-water mixture to it. It consists of a shaft installed in a crosspiece on roller and ball bearings, enclosed by a cover. The sealing of the channel for supplying the air-water mixture to the shaft is achieved by two seals, clamped by a ring and a sleeve in the cover.

The connection between the shaft and the gear coupling is spline-type and is achieved by bolts and washers. A connector is used to connect the shaft to the drill string. To supply the air-water mixture into the internal cavity of the rotating rod, the cover of the support node serves, to which the mixture from the manifold installed on the garland is supplied through a nozzle.

The locking of the shaft against rotation is carried out by means of a stopper installed on the crosspiece and consists of a hydraulic cylinder, a bracket, and a lever.

The feed mechanism is a quadruple accelerating cable-pulley system driven by two hydraulic cylinders, designed for feeding the drill string into the wellbore with a tension of up to 300 kN.

The garland tensioning mechanism consists of a drum installed on a movable carriage suspended on a cable. When the rods of the feed mechanism hydraulic cylinders are extended (during feeding the string into the wellbore), the carriage descends. When raising the drill string, the carriage also ascends. During the ascent and descent of the carriage, the garland inserted into the groove of its drum, consisting of a bundle of cables and hoses, wraps around the drum. The carriage moves at a speed twice slower than the rotary mechanism, ensuring tension in the garland regardless of the position of the rotary mechanism.

The cassette consists of a shaft installed in the slots of brackets on ball bearings. The brackets are bolted to the metal structures of the handle. A jaw with stops is welded to the upper part of the shaft, and a support is attached to its lower part. When installing the drill string in the middle socket of the support, it presses the lever pedal, which, with the help of a cable, rotates the latch into a horizontal position, overcoming the resistance of the spring. In this case, the upper end of the rod is fixed in the jaw. When installing the rod in one of the side sockets of the support, it is fixed by one of the latches, which rotates into a horizontal position by the rod connected to the lever of the corresponding socket. In this case, the spring is stretched. The rotation of the cassette is carried out by a hydraulic cylinder acting on a lever fitted on the square lower end of the shaft. During the rotation of the cassette, the next rod is fed into the borehole axis or moved away from it.

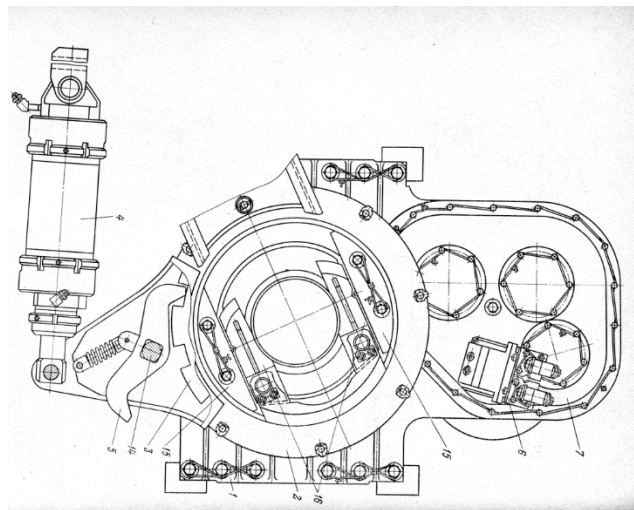


Figure 1.4 - Mechanism for Connecting and Disconnecting Drill Rods

The mechanism for connecting and disconnecting drill rods consists of a housing bolted to the metal structures of the handle, in which a ratchet mechanism is installed. The rotation of the ratchet wheel, mounted in the housing, can be carried out by a hydraulic cylinder through a dog or by a hydraulic motor through a gearbox.

On the upper part of the ratchet wheel, installed in the slots of the housing and its cover using a bearing and housing, upper and lower plates of the ratchet mechanism are fitted, connected by bolts with spacer sleeves. Between the plates, a two-way dog is installed on an axis, which allows the ratchet wheel to rotate in both directions during the oscillating movement of the plates. In the center of the ratchet wheel, there is a

hole, and segments bolted to the wheel form a rectangular slot into which pads are inserted. The pads are centered by a sleeve. Between the sleeve and the ratchet wheel, damping rubber rings are placed.

During the disconnection of the drill rods, the pads are inserted into the slots of the ratchet wheel and are connected to the flat surfaces of the ends of the lower rod, while the upper rod is held from rotating by a wrench. Then, several reciprocating movements of the ratchet lever are performed using a hydraulic cylinder, which leads to the rotation of the lower rod, connected to the ratchet wheel, relative to the upper one. Subsequently, the rods are disconnected using a hydraulic motor. The disconnection of the rods occurs in reverse order. The dog must be moved beforehand, and the hydraulic motor must be reversed, ensuring the rotation of the ratchet wheel in the opposite direction.

The raising of the next rod during disconnection and the withdrawal of the disconnected rod from the assembly are carried out by the cassette.

The steady rest is mounted on the handle in the front right section. The rod passing through the steady rest is supported by two layers, one embedded in the housing and the other in the fixing handle. It is raised to the working position by a cylinder that rotates the housing relative to the axis. The handle grips and secures the rod in the steady rest with the help of a hydraulic cylinder. Both hydraulic cylinders are equipped with hydraulic locks to prevent unintentional movement. Control of the steady rest is performed from the operator's cabin.

The machinery compartment and cabin of the SBSH-250M drilling rig are attached to one of the beams of the chassis frame. The cabin with the control panel is connected to the machinery compartment by a door. An insulated water tank is attached to another beam of the chassis frame. The machinery compartment consists of two insulated rooms - insulated and uninsulated, connected by a door. Additionally, the machinery compartment has an entrance door. Various equipment and accessories, such as pumps, a transformer, etc., are located in the insulated room, while the uninsulated room houses a compressor and a distribution box.

For the horizontal positioning of the machine tool to the frame of the machinery compartment, three hydraulic jacks are attached: two in the front on special brackets and one in the rear directly on the frame. As the primary destructive tool on the SBSH machines, roller cone bits are used. Additionally, cutting and combination bits can be utilized. The drilling stems of these machines consist of smooth tubes with threaded shanks.

### 1.3 Classification of drill bits

Roller cone bits for drilling explosive wells are manufactured according to the standard "Roller Cone Bits. Types and Basic Dimensions." They are equipped with one, two, or three cones. The most common ones are the three-cone roller cone bits. A three-cone roller cone bit consists of three sections welded together - legs, on the ears of which the cones are mounted, freely rotating on supports equipped with roller and ball rolling bearings. The external working surfaces of the cones are equipped with teeth. The upper part of the bit for connection to the stems has a standard locking tapered thread.

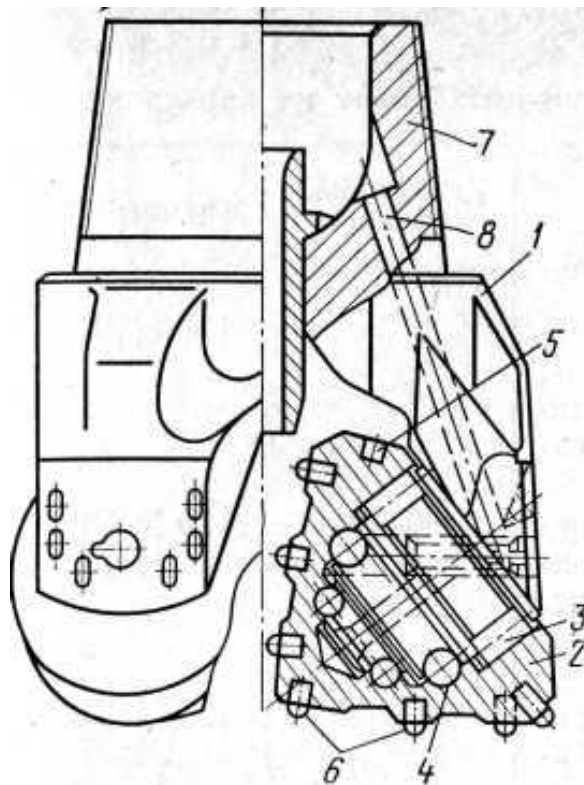


Figure 1.5 Three-Cone Roller Cone Bit

With increasing water content in wells, the stability of roller cone bits decreases. An effective means to increase bit stability in these conditions is the use of various valve designs.

The anti-dust valve KD-3 was proposed by the Institute of Geotechnical Mechanics. Between 40% to 80% of bits fail due to jamming and wear of supports under normal operating conditions. One of the promising ways to increase the durability of supports is their constant forced lubrication.

Currently in Ukraine, drilling equipment has been developed to provide continuous forced lubrication to the supports and dust suppression with water injected into the annular space. A 50-liter water tank ensures continuous operation of the drilling rig for 35-40 hours. There was also a method developed for supplying lubricant to the bit supports through an oil-deflecting sleeve installed in the central air flushing channel of the bit. The sleeve ensures the release of lubricant present in the air stream and directs it to the bit supports. The use of oil-deflecting sleeves increases the average stability of the bit by 1.2-1.9 times and increases drilling speed by 11-20%.

Regarding cutting drill bits, there were several designs developed for drilling wells with roller cone drilling rigs with air flushing. Removable standard inserts are used as cutting elements for them, the number of which is increased compared to the crowns for auger drilling rigs. To accommodate the inserts, the bodies of such bits are made with three or four wings, which reduces the vibrations occurring during drilling.

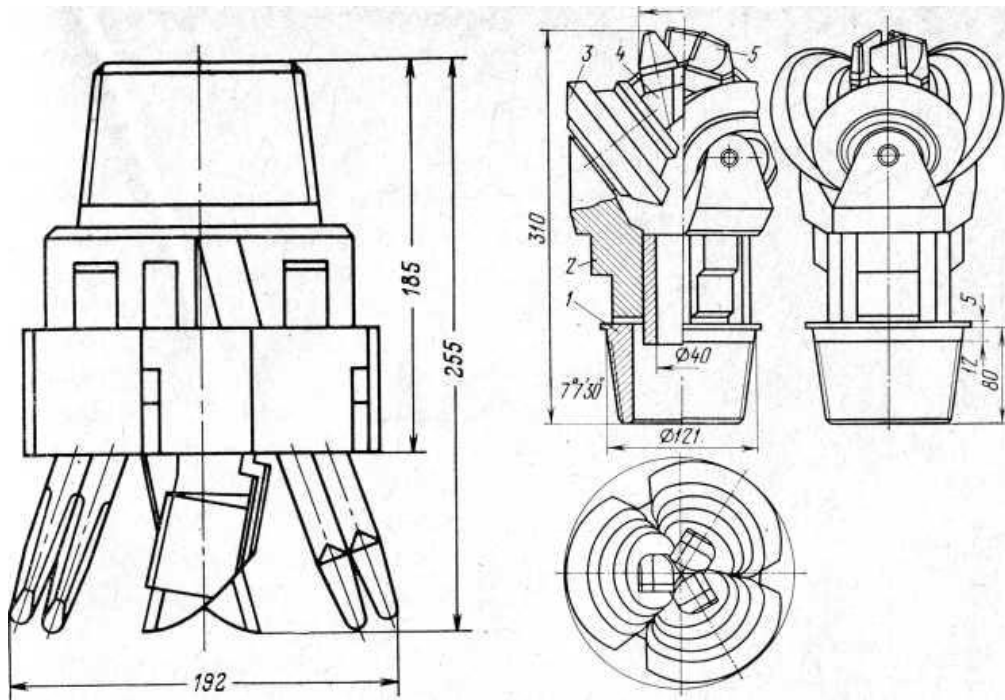


Figure 1.6 Cutting Drill Bit

#### 1.4 Supply of Machines and Their Installation

The unloading of the machine at the quarry is carried out according to the loading and unloading scheme developed by the manufacturer.

The installation of the machine is performed in the following sequence:

- a) The platform with the body and mechanisms is installed on the crawler chassis and secured to it;
- b) The control cabin is installed and secured;
- c) The mast is installed, to which the cylinders for raising and lowering the mast are attached;
- d) Equipment (fan units, filtration chamber, etc.) and air ducts of the dust collection system (dust suppression) are mounted.

Machine control during drilling includes: preparatory work, assembly of the drilling rig, drilling, disassembly of the drilling rig, replacement of drilling equipment.

Preparatory works consist of operations necessary to prepare the drilling rig after its installation above the wellbore site. They are carried out in the following sequence.

Activation of the hydraulic system pumps. Activation is indicated by the green light flashing above the pump activation buttons. The pressure magnitude in the hydraulic system is determined by the pressure gauge set on the control panel.

Activation of the control valves for the hydraulic jacks ensures the horizontal positioning of the rig. Initially, the rig is lifted using the rear jack, followed by leveling with two front jacks. It is essential to ensure that the support plates of the hydraulic jacks are firmly pressed against the ground surface. If necessary, the supporting surface should be leveled. The correctness of the machine leveling is checked using the axis. After completing the leveling, the weight of the rig should be supported by the hydraulic jacks, with the support rollers of the crawler carriage raised above the lower tracks.

If the mast was in the transport position during the rig's movement, the operator, by activating the control valve, positions the mast vertically and secures it. After this, if necessary, the mast can be set at an angle.

The reception cone of the dust collector is placed on the ground, ensuring maximum possible tightness of the cone's contact with the ground.

Before starting drilling, the drilling rig operator must ensure that there are no defects in the drilling equipment (rods and bits), and check for any clogged air passages. If dirt gets into the air passages, they must be cleaned. The bit's cutters should rotate freely and smoothly on their supports. If the cutters get stuck, their supports should be flushed with kerosene. If defects are found on the bit that cannot be fixed directly on the rig, the bit should be sent to the mechanical workshop for repair or to the warehouse to lodge a complaint with the manufacturer. Before screwing on the bit, the threads must be thoroughly cleaned and lubricated. The bit is screwed on until the threaded connection is fully secured. When lowering the bit into the drilled well, impacts should be avoided.

## 1.5 Drilling and Boring of Wells

Before the drilling operation, the spindle axis must align with the axis of the future well. Then, spindle rotation and compressed air feed are activated, after which the bit is slowly lowered to the bottom. Drilling without compressed air supply is prohibited. When drilling in fractured and unstable rock formations, the well must be repeatedly treated by raising and lowering the drilling tool with rotation and continuous air supply.

During drilling, the operator must control the parameters of the drilling process, as well as the operation of all rig components. The axial force on the bit is regulated using a hydraulic regulator.

Its magnitude is controlled by the reading of the electric network meter, the scale of which is calibrated in tons of axial force. The rotation speed of the drilling string is set by adjusting the speed control handle. The rotation speed is monitored by a voltmeter, the scale of which is calibrated in revolutions per minute (RPM). The mechanical drilling speed is determined for specific drilling conditions (axial force and rotation speed) and is monitored by the voltmeter (drilling speed sensor), where one division of the scale corresponds to a mechanical drilling speed of 1 m/h.

The current of the load of the rotational device's engine is determined by the parameters of the drilling process and is monitored by the ammeter readings. In addition to adhering to the drilling process parameters, it is necessary to monitor the operation of all machine units according to the readings of the corresponding instruments: the operation of the compressor according to the indications (oil pressure in the lubrication system, air pressure, and oil temperature) on the control panel installed in the control cabin; the operation of the working tool gearbox according to the oil pressure sensor reading in the lubrication system; the operation of the hydraulic system according to the pressure gauge readings. The oil temperature in the tank is monitored by a sensor located in the tank, the signal from which is sent to the temperature indicator installed on the control panel.

## **1.6 Features of drilling inclined wells.**

For drilling inclined wells, special devices called steady rests are used on the machine to hold the drill string in the inclined position. The construction of the jack support plates promotes good traction between the machine and the ground, preventing slippage.

There are some technological challenges associated with drilling inclined wells. During the drilling process, the wellbore may deviate from the intended direction. Additionally, in the inclined position, the drill string experiences a certain sag, which can cause vibration of the drill string and the machine at significant rotation frequencies. The kick-off of inclined wells shifts more intensively compared to vertical wells. High rotation frequency of the tricone bit in this case is undesirable.

When tightening threaded connections of the drill string, it is necessary to ensure that the threads of the connected rods do not shift relative to each other by more than 5 m and that the rod does not press against the cassette.

When dismantling the drill string, the lugs of the rods should be parallel to the jaws of the cassette outlet. The alignment of the drill string axis with the corresponding cassette socket is determined by the risks on the lower sector. The tension in the threaded connections of the rods is released by a tightening mechanism. It is prohibited to use abrupt movements of the drive electric motor for this purpose. When lowering the swivel to connect it to the next removed rod, timely disconnection of the winch is necessary to prevent sagging of the lifting cable.

For replacing the bit on machines of all types, special devices are provided. After installation and fixing in the device, the bit is disconnected first with a hydraulic wrench and then with an electric drive motor. Tightening the bit with the final rod is done by rotating it with the drive motor while the bit is stationary.

Controlling the machine during relocation: the first and mandatory condition to be met when preparing the machine for relocation is attaching the cassette to the carriage using the locking mechanism, as well as securely locking all rods in the cassette locks. Before starting the movement of the machine, it is necessary to check if the support jacks and the dust collection chamber of the dust collection system are

raised to the upper position, and if the final rod is blocked and raised to a sufficient height. By pressing the button on the portable control panel, check: the ability to move the tracks forward and backward; absence of cracks; turning the machine right and left. After this, you can move in the specified direction, controlling the movement of the machine using the portable control panel.

### **1.7 Care for the drilling machine**

For the proper operation of the drilling machine, it is necessary to understand its construction and the purpose of individual mechanisms. All requirements for controlling, adjusting, lubricating, and servicing the machine must be carefully and timely executed.

Before starting the machine, it is necessary to: check the reliability of the fastening of individual mechanisms to each other and to the platform; adjust the tension of the tracks, the operation of the track drive brakes and winch brakes, and the operation of the hydraulic chuck; check the presence and level of oil in the gearboxes, in the tank, and the tightness of the nipples and connecting nuts of the hydraulic system; lubricate all lubrication points according to the lubrication indicators; check the attachment of the cable to the swivel and winch drum, as well as the condition of the electrical equipment and the correctness of the rotation direction of the machine's electric motors. After completing all these requirements, the machine can be started.

During the operation of the machine, controlling it involves careful observation of the individual mechanisms and monitoring the readings of the control and measuring instruments. Any abnormalities in the operation of the mechanisms should be promptly addressed. It is necessary to monitor the oil temperature in the gearboxes and hydraulic system, as well as bearing heating. All connections of the hydraulic system should be observed, preventing oil leaks, as well as the operation of leveling hydraulic cylinders. After stopping the machine, it should be cleaned of dirt, dust, and oil, and in winter (at low temperatures), the oil should be drained from the hydraulic system and compressors.

## **1.8 Description of the electric drive**

The machine is powered by electricity from a low-voltage AC network with a voltage of 380 V or a high-voltage network with a voltage of 6000 V using a flexible cable. Rotary drilling machines have multi-engine drives. The total installed power of the electrical equipment of the SBSH-250MN machine is approximately 400 kW. The machine has a main drive for the rotational mechanism with a power of 68 kW.

To power the motor of the rotational device and for the flushing of the well with an air-water mixture to the rotational mechanism, a festoon with an electric cable, air, and water hoses is provided. The sagging and damage of the festoon during the lowering and lifting of the rotational device are eliminated by a special tensioning mechanism kinetically linked to the feed mechanism. Electricity to the machine is supplied by a flexible cable from a low-voltage AC network with a voltage of 380 V.

The drive of the rotational mechanism is equipped with an AC motor. The asynchronous motor with a squirrel-cage rotor has gained quite widespread use. The feed drive of the drilling tool is provided by a hydraulic system containing motors of the lubrication station. The control, protection, and signaling equipment consist of a control station, panel of automation and starters of the control panel, control post, and remote control panel.

All machines are equipped with both external and internal lighting. For repair lighting, there is a portable lamp and two sockets. Transformer TV1 of type TC3-4/0.5 is used to supply voltage of 220 V to the control circuits and lighting of the machine, and AC asymmetrical automatically disconnects the input switch in case of single-phase earth faults. Power supply to the control circuits is provided by automatic switch QF3, connection of powerful electrical consumers to the network with a voltage of 380 V - by switches A3712, A3114, and AP50-3M. The installed power of the powerful electrical equipment is 386 kW. Three cores of flexible cable KRShK 3x150 + 1x50, supplying voltage of 380 V, are connected to the cable input of the machine, and the fourth grounding core - to its body. The input automatic switch (QF1) of type A3712 has an electromagnetic drive, which allows it to be controlled from the operator's cabin.

Міністерство освіти та науки України  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

# **Розроблення асинхронного електроприводу пересувного верстату для шарошечного буріння свердловин**

Кваліфікаційна робота бакалавра

Виконав:

Студент 401МЕ групи

Сузима А.О.

Керівник:

Доцент, к.т.н

Єрмілова Н.В.

**Актуальність теми** полягає в тому, що сучасні вимоги до нафтової і газової промисловості змушують розробників постійно шукати нові технологічні рішення для підвищення продуктивності та зниження впливу на навколишнє середовище. Особливе значення у цьому процесі має шарошечне буріння, яке є одним із найефективніших методів відкритого освоєння нафтових і газових свердловин. Ефективність цього процесу напряму залежить від технічного стану та точності пересувних верстатів, що використовуються.

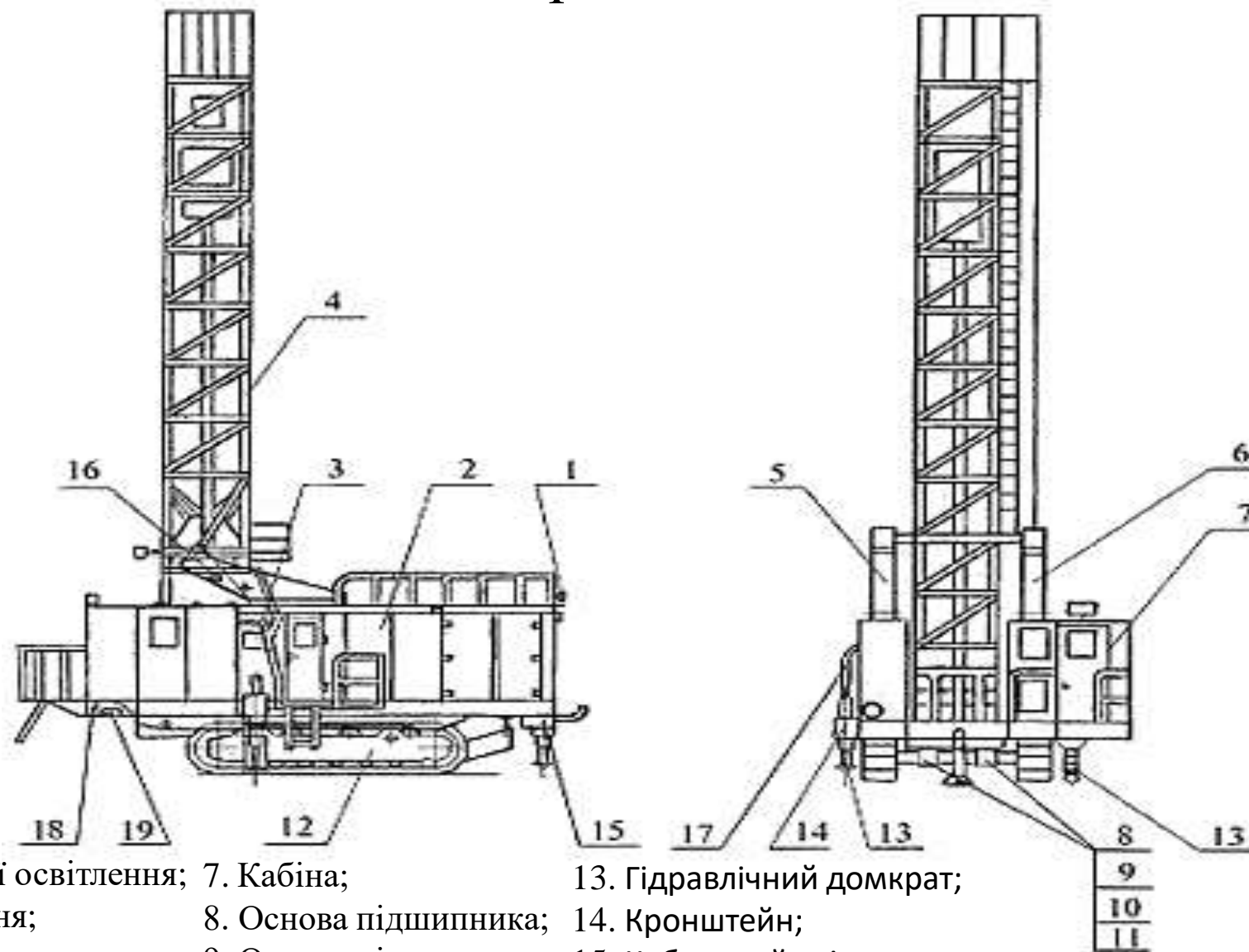
**Метою роботи** є розробка та комплексний аналіз асинхронного електроприводу

пересувного верстату шарошечного буріння.

Для виконання поставленої мети в роботі необхідно виконати наступні **завдання:**

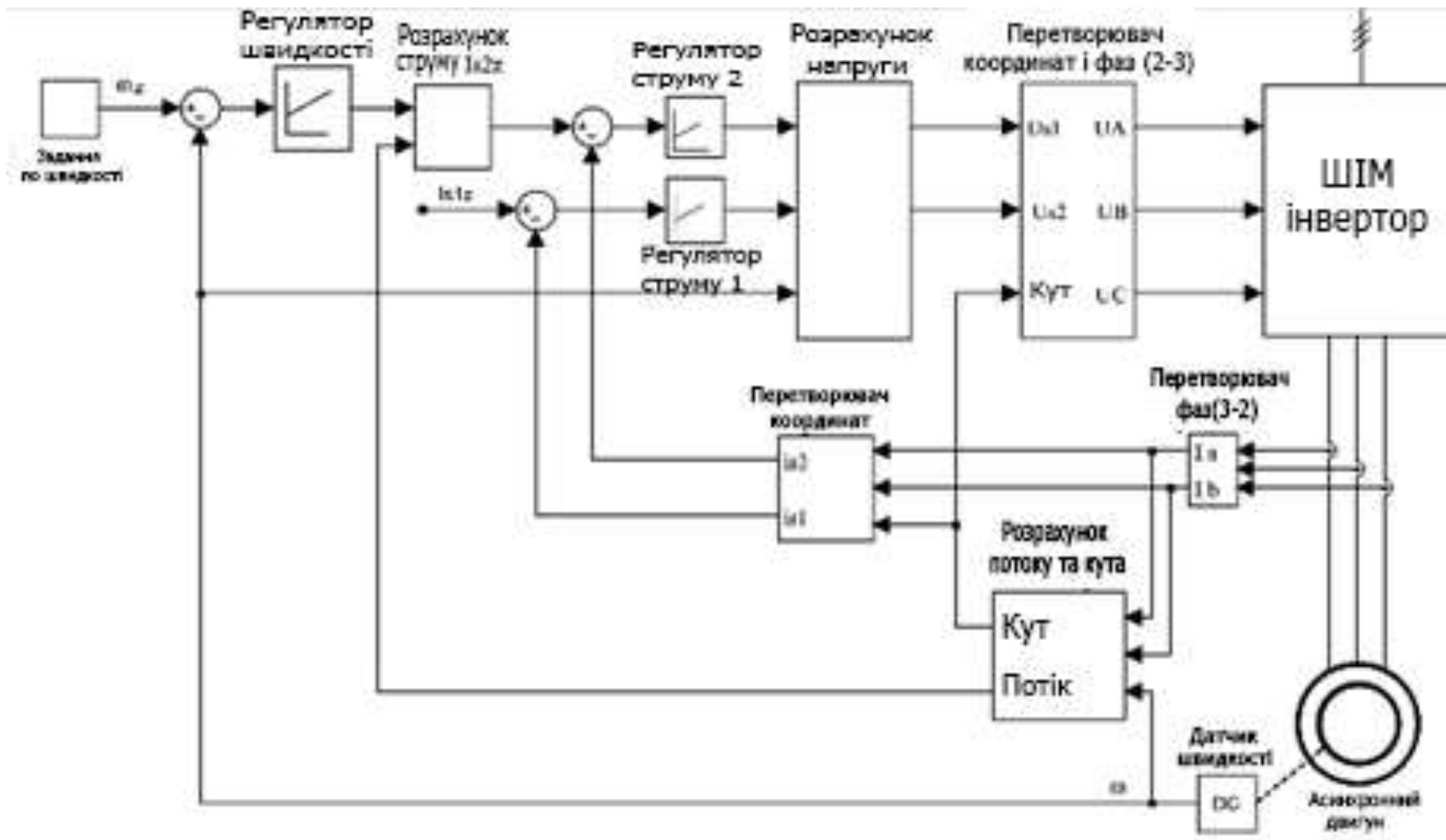
- аналіз конструкційних особливостей приводу
- вибрати перетворювач частоти
- створити комп'ютерну модель основних частин верстату
- вибрати мікроконтролер після аналізу перехідних процесів

# Загальний вигляд верстата СБШ-250МН

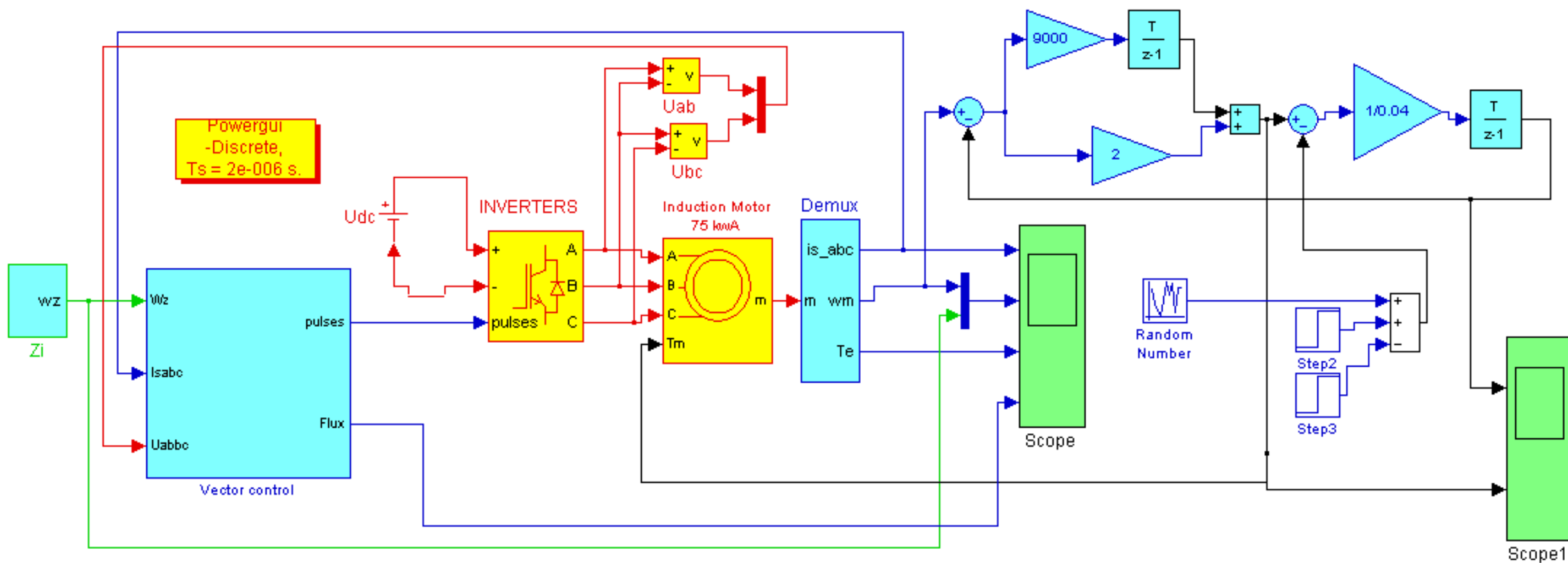


- |                                   |                        |  |
|-----------------------------------|------------------------|--|
| 1. Електрокомунікації освітлення; | 7. Кабіна;             | 13. Гідравлічний домкрат;              |
| 2. Машинне відділення;            | 8. Основа підшипника;  | 14. Кронштейн;                         |
| 3. Механізм кондиціонера;         | 9. Основа підшипника;  | 15. Кабельний ввід;                    |
| 4. Щогла;                         | 10. Кришка підшипника; | 16. Перехідна коробка №1;              |
| 5. Циліндр завалювання щогли;     | 11. Кришка підшипника; | 17. Маслопровід машинного відділення;  |
| 6. Циліндр завалювання щогли;     | 12. Гусеничний хід;    | 18. Відгалужувальна коробка;           |
|                                   |                        | 19. Пульти керування гусеничним ходом. |

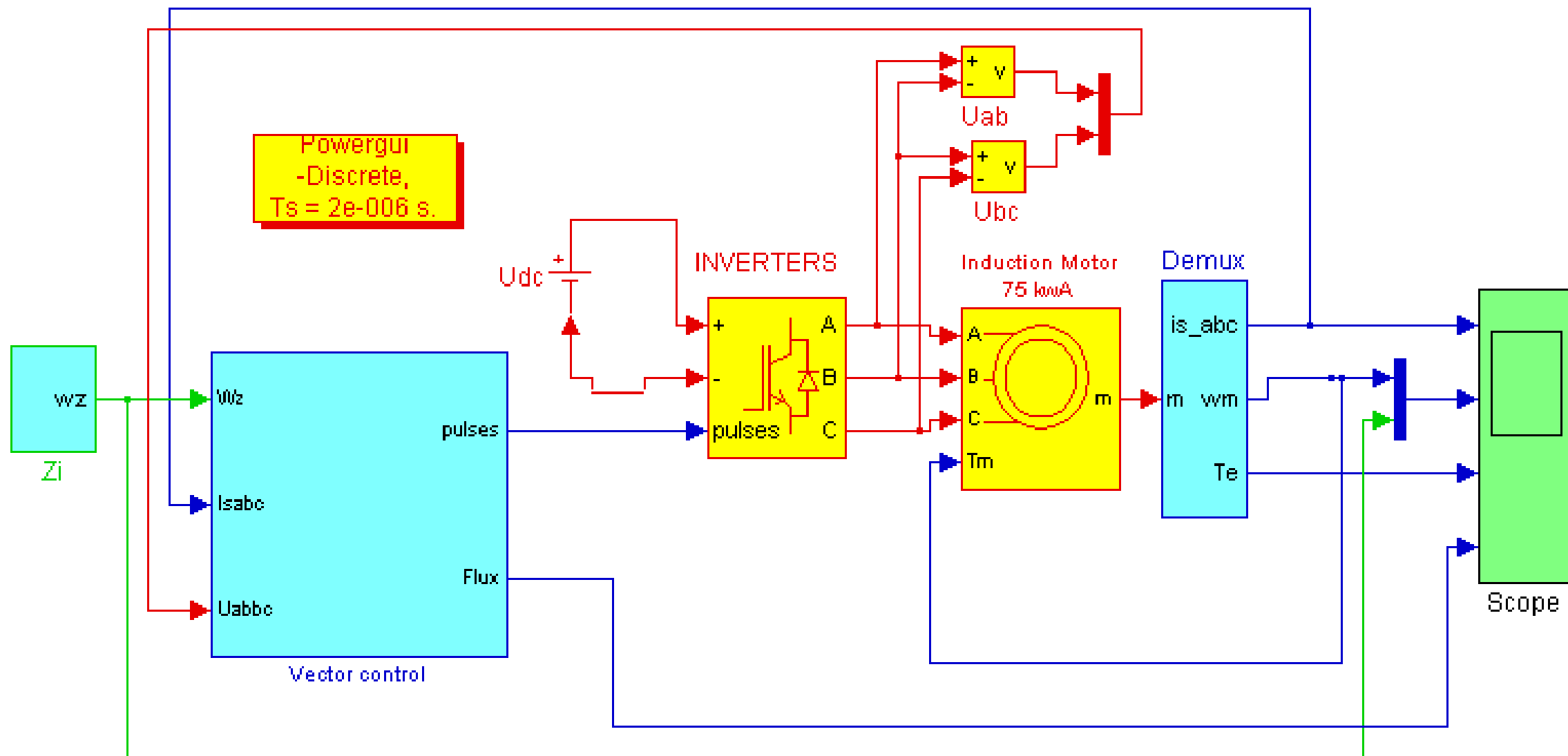
# Структурна схема векторної системи управління електроприводом



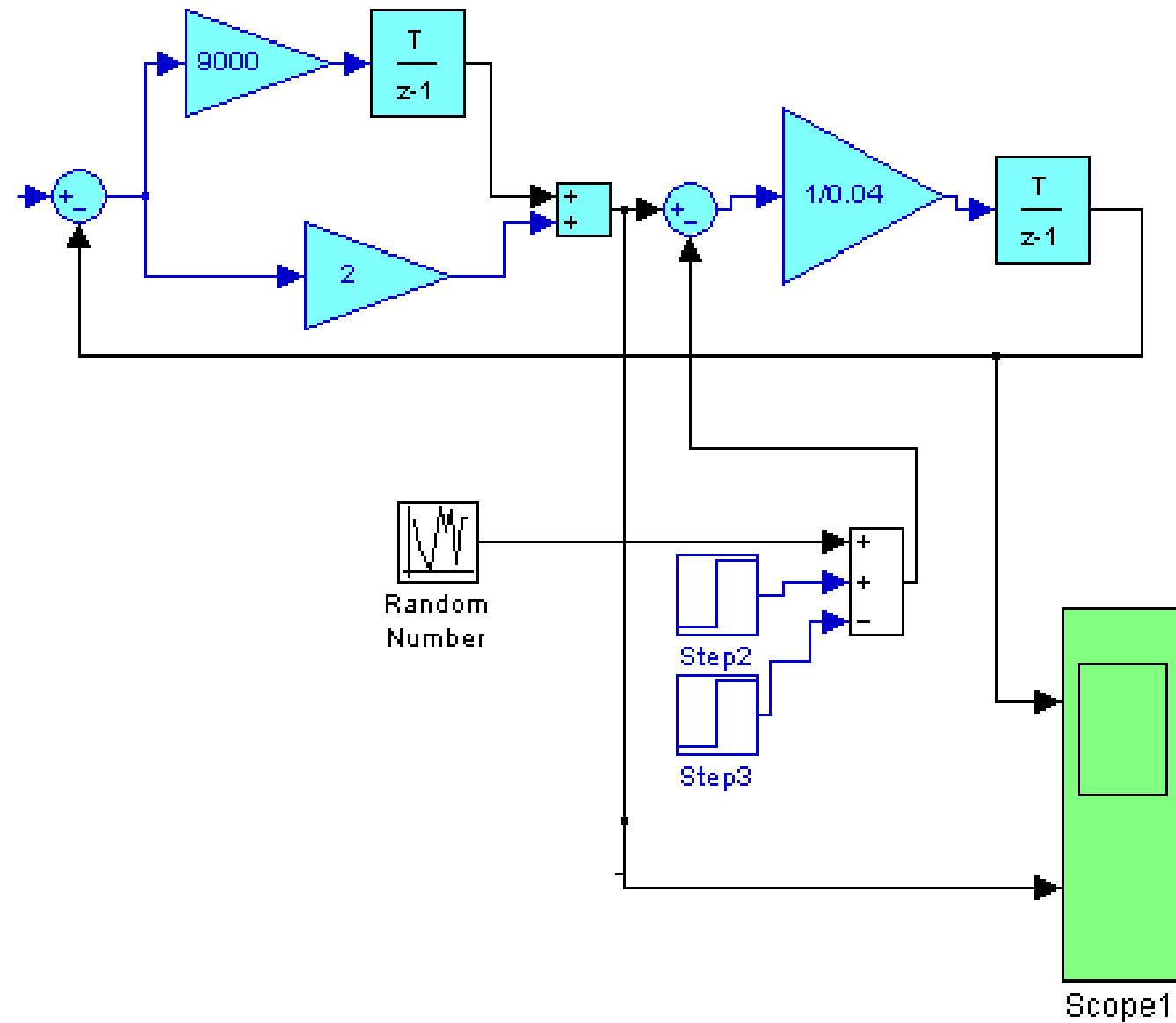
# Комп'ютерна модель приводу бурового верстата СБШ-250МН



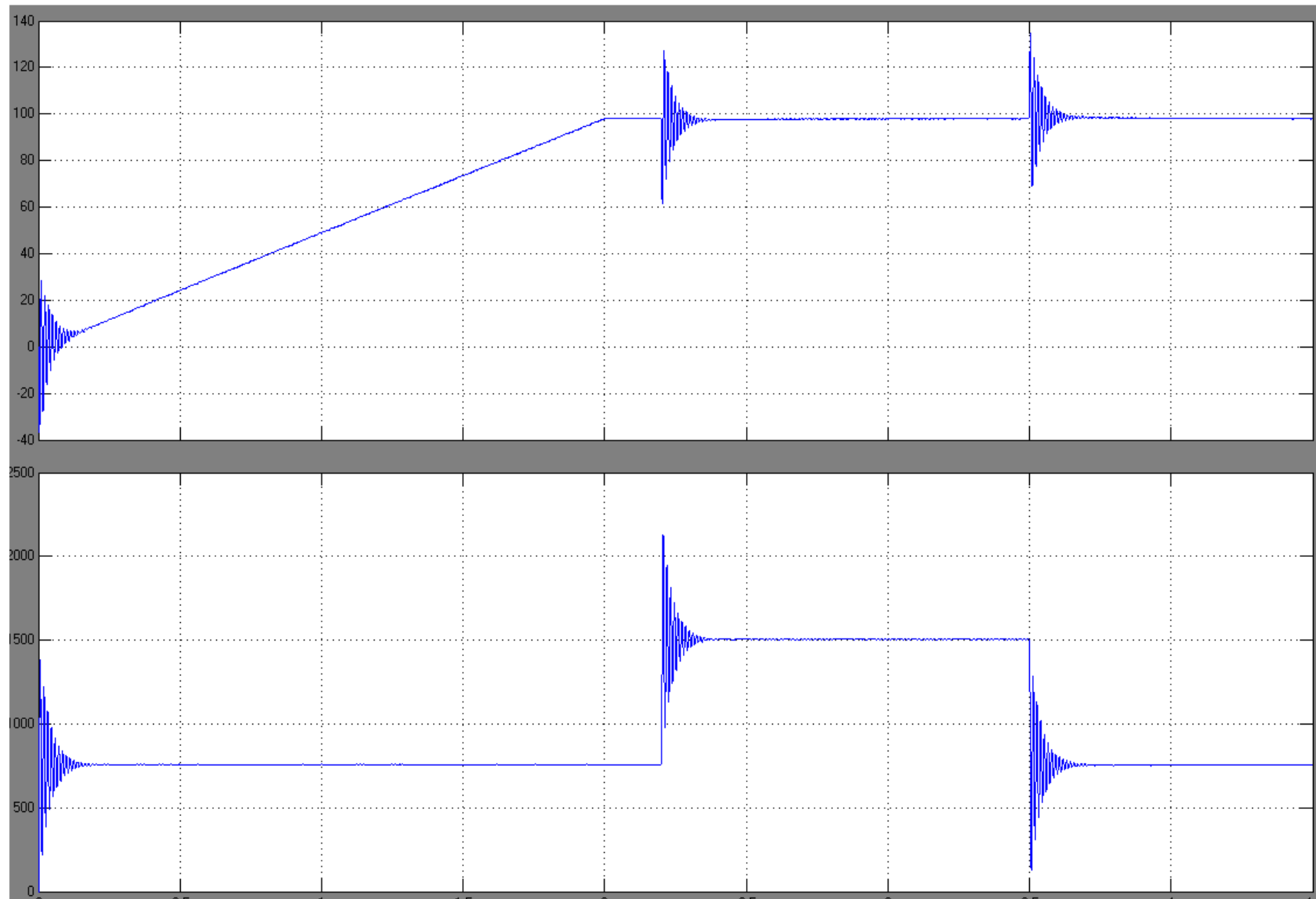
# Комп'ютерна модель векторної системи керування приводом



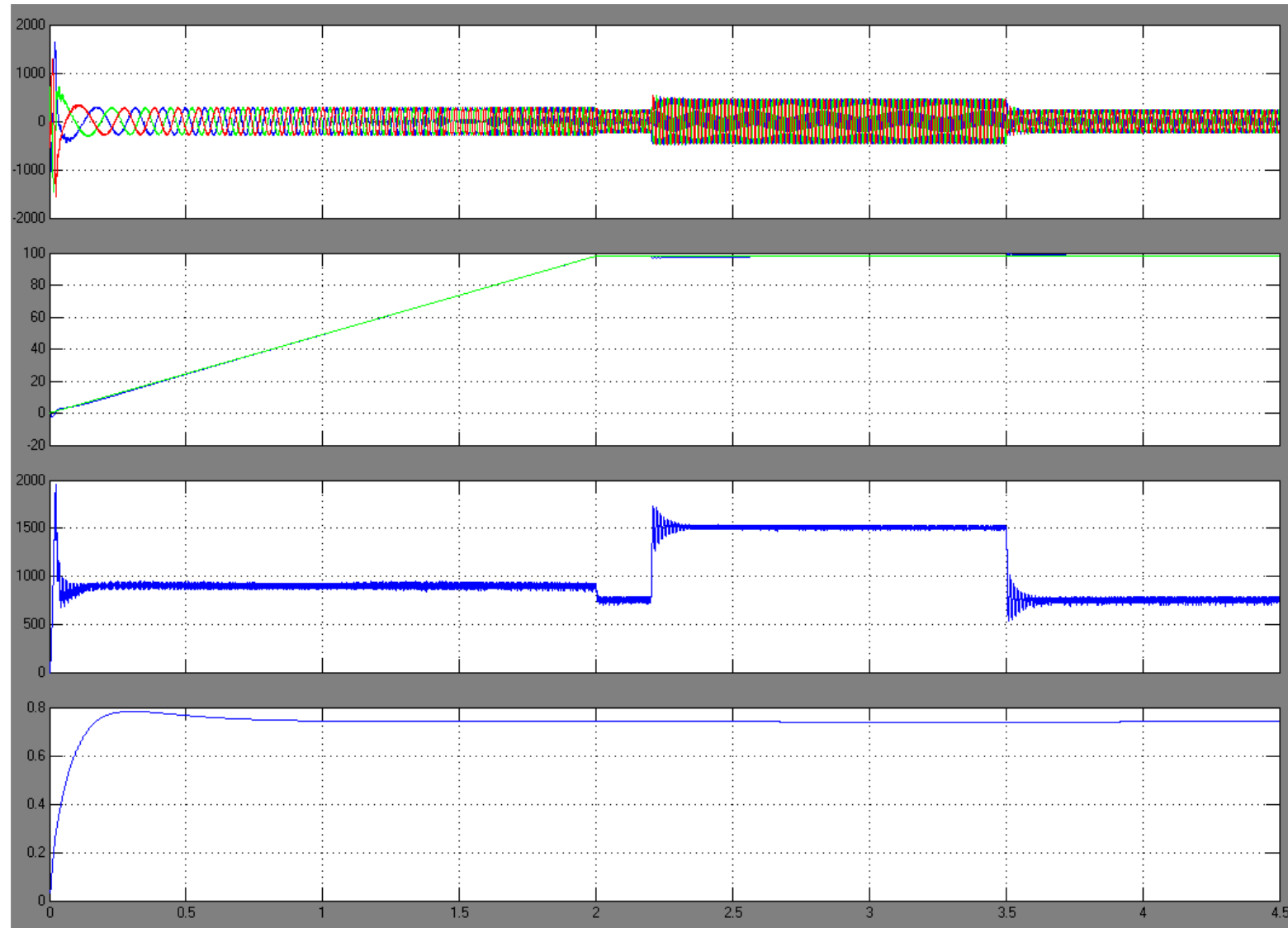
# Комп'ютерна модель механічної частини приводу



# Перехідні процеси механічної частини електропривода



# Перехідні процеси в електроприводі бурового верстату СБШ-250МН



# Висновки

1. У представленій бакалаврській роботі розглянуті принцип дії та будова верстатів шарошечного буріння у представленій бакалаврській роботі. Розроблена система управління електроприводом бурового верстата СБШ-250МН. Був обраний привідний електродвигун типу 4A280S6 Y3. Обрано перетворювач частоти типу SINAMICS G120C (6SL3210-1KE31-7UF1).
2. Проведено моделювання електроприводу з векторним керуванням. Була розроблена і реалізована, за допомогою пакету програм MATLAB, система управління електроприводом бурового верстату з асинхронним двигуном.
3. В процесі дослідження було вивчено та аналізовано особливості електромеханічних систем, методи моделювання та синтезу контролерів асинхронних двигунів. Розроблена система демонструє високу надійність і ефективність у реальних умовах експлуатації, що підтверджується результатами експериментальних випробувань.
4. Частотне управління двигунами змінного струму є економічним, оскільки воно дозволяє зберегти високий ККД двигуна, забезпечує як двигунові, так і гальмівні режими роботи, має хорошу жорсткість характеристик і, що найголовніше, дозволяє використовувати в якості привідного асинхронний короткозамкнений двигун.
5. Отримані результати свідчать про можливість використання запропонованої системи в індустріальних застосунках, що сприятиме підвищенню продуктивності та зниженню витрат енергії у процесі шарошечного буріння. Подальші напрямки досліджень можуть включати оптимізацію системи управління з метою ще більшого покращення її ефективності та ресурсу. У цілому, розроблений асинхронний електропривід представляє собою значний крок у напрямку вдосконалення технологій буріння свердловин, забезпечуючи необхідні технічні та економічні переваги для індустрії.