

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Навчально-науковий інститут
«Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського
національного університету імені В. Н. Каразіна

Кафедра _____ АМтаЕТ _____

До захисту допущено
Завідувач кафедри

 (підпис)

_____ д.т.н., професор Канюк Г.І.
 (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 20 ____ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

рівень вищої освіти _____ магістр _____

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

освітньо-професійна програма _____

тема «Удосконалення системи керування бурильною установкою глибоких
 свердловин»

Виконав (ла)

студент (ка) групи ДЕА-23мг _____
 (шифр групи)

_____ **СИНЯВСЬКИЙ В'ячеслав Сергійович**
 (ім'я, прізвище)

 (підпис)

Керівник роботи

_____ к.т.н., Мезеря А.Ю.
 (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

 (підпис)

Рецензент роботи

_____ к.т.н., Буданов П.Ф.
 (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

 (підпис)

Консультант _____

(назва розділу)

_____ (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

 (підпис)

Засвідчую, що у цій роботі
 немає цитат та вилучень з
 праць інших авторів без відповідних
 посилань
 студент(ка) _____
 (підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут

**«Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського
національного університету імені В. Н. Каразіна**

Кафедра АМтаЕТ

Спеціальність 174

Освітньо-професійна програма магістр

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис)

д.т.н., професор Канюк Г.І.

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

« » 20 p.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

рівня вищої освіти

студенту (ці) **СИНЯВСЬКИЙ В'ячеслав Сергійович**

(ім'я, прізвище)

1. Тема _____ Удосконалення системи керування бурильною установкою глибоких свердловин

затверджена наказом по академії № 4801-5/3704 від «21» 11 2024р.

2. Термін здачі закінченої роботи « 28 » 11 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи ____ Існуючі схеми керування бурильною установкою глибоких свердловин та їх конструкції, методи керування бурильною установкою глибоких свердловин, математичні моделі бурильної установки

4. Зміст роботи (перелік питань, які належить розробити):

— Аналіз сучасних бурильних установок глибоких свердловин, аналіз недоліків та переваг існуючих систем керування бурильними установками глибоких свердловин сенсорів на поверхньо-акустичних хвилях. Дослідження режимів роботи бурильних установок, дослідження перспективних напрямків розвитку, висновки

5.Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):

Актуальність теми, існуючі системи керування бурильною установкою глибоких свердловин, недоліки та переваги систем керування, порівняльний аналіз систем керування, висновки.

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання « 14 » 09 2024 р.

Керівник


 (підпис)
Мезеря А.Ю.
(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання


 (підпис)
Синявський В.С.
(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Аналіз існуючих систем керування	14.10-28.10	виконано
2	Аналіз характеристик систем керування в різних режимах роботи	28.10-05.11	виконано
3	Порівняльний аналіз	05.11-14.11	виконано
4	Експериментальні дослідження	14.11-28.11	виконано
5	Висновки	28.11	виконано

Студент (ка)


 (підпис)
Синявський В.С.
(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль


 (підпис)
Ключка Є.П.
(ім'я, прізвище)

Зміст	
Позначення та скорочення	7
Вступ	8
Розділ 1. Розробка функціональної схеми системи керування положенням робочого органу бурильної колони.....	11
1.1. Постановка задачі розробки системи керування кутом повороту бурильної колони	11
1.2. Склад бурової установки	13
1.2.1. Система верхнього приводу	13
1.2.2. Бурильна колона	14
1.2.3. Компонування низу бурильної колони	14
1.3. Спрощена функціональна схема управління бурильної колони	19
1.4. Розширена функціональна схема системи керування кутом повороту бурильної колони	20
Розділ 2. Створення математичних моделей елементів системи керування.....	22
2.1. Математична модель колони бурильних труб, включаючи вибійну частину у вигляді турбобура.....	22
2.1.1. Двомасова система без урахування дисипативних сил.....	22
2.1.1.1. Зв'язок параметрів двох масової системи та бурильної колони	26
2.1.1.2. Структурна схема двомасової системи без урахування впливу дисипативних сил.....	27
2.1.1.3. Передатна функція з керуючого впливу	27
2.1.1.4. Передатна функція з обурення M_{c1}	30
2.1.1.5. Передатна функція з обурення M_{c2}	31
2.1.2. Двомасова система з урахуванням дисипативних сил	33
2.1.2.1 Передатна функція з керуючого впливу	34
2.2. Математична модель електричного приводу бурильної колони.....	35
2.2.1. Математичний опис двигуна постійного струму з незалежним збудженням	35

2.2.2. Математичний опис асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.....	37
Розділ 3. Розробка математичної моделі та структурної схеми системи управління положенням робочого органу бурильної колони.....	39
3.2. Схема керування положенням робочого органу бурильної колони з асинхронним двигуном.....	43
Розділ 4. Синтез системи підлеглого регулювання під час управління положенням робочого інструменту бурильної колони	47
4.1. Синтез підлеглого регулювання системи керування положенням робочого інструменту бурильної колони з двигуном постійного струму	48
4.1.1. Синтез регулятора рушійного моменту (струму)	50
4.1.2. Синтез регулятора швидкості	53
4.1.3. Синтез регулятора положення	55
4.2. Синтез підлеглого регулювання системи керування положенням робочого інструменту бурильної колони з асинхронним двигуном.....	58
4.2.1. Частотне регулювання моменту (струму).....	60
4.2.2. Синтез регулятора швидкості	60
4.2.3. Синтез регулятора положення	61
Розділ 5. Дослідження комп'ютерної моделі системи управління з урахуванням в'язкого тертя	65
Розділ 6. Ресурсоефективність та ресурсозбереження	70
6.1. Організація та планування робіт.....	70
6.1.1. Тривалість етапів робіт.....	71
6.1.2. Розрахунок кошторису витрат на виконання проекту.....	77
6.1.3. Розрахунок витрат на матеріали	77
6.1.4. Розрахунок заробітної плати	78
6.1.5. Розрахунок витрат за соціальний податок.....	79
6.1.6. Розрахунок витрат на електроенергію	80
6.1.7. Розрахунок амортизаційних витрат.....	81
6.1.8. Розрахунки, що враховуються безпосередньо на основі платіжних	

(розрахункових) документів (крім добових)	82
6.1.9. Розрахунок інших витрат.....	83
6.2. Розрахунок загальної собівартості розробки.....	83
6.3 Розрахунок прибутку	84
6.4. Розрахунок ПДВ	84
6.5. Ціна розробки НДР.....	84
6.6. Оцінка економічної ефективності проекту.....	84
Висновки.....	85
Список використаної літератури.....	Error! Bookmark not defined.
Додаток А	Error! Bookmark not defined.

Позначення та скорочення

СВП – Система верхнього привода

УТБ – обважені бурильні труби

КНБК – Компонування низу бурильної колони

ІПБ – Вимірювання під час буріння

УУ - Пристрій управління

ОУ - Об'єкт управління

ЛАЧХ – Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика

ЛФЧХ – Логарифмічна амплітудно-фазова характеристика

САУ – Система автоматичного керування

ЕП - Електропривод

ПФ – Передаточна функція

ККД - Коефіцієнт корисної дії

ТП-Д - Тиристорний перетворювач - двигун

ПЧ - Перетворювач частоти

ЛАХ – Логарифмічна амплітудна характеристика

ЛФХ – Логарифмічна фазова характеристика

Вступ

На сьогоднішній день основним завданням у нафтогазовій галузі є підвищення ефективності та якості буріння. У це завдання можна включити як збільшення швидкісних показників буріння, і поліпшення якості бурових робіт. Пріоритетним напрямом для досягнення цієї мети в даний час є буріння похило-спрямованих свердловин, які дозволяють досягати заданих горизонтів за заданими планами траєкторій. Найбільш показовим прикладом застосування такої технології є видобуток сланцевих вуглеводнів безліччю компаній США. У Україні поки такі технології вітчизняними компаніями не реалізуються через їхню складність, відсутність фахівців і технічних засобів, які поки що залишаються корпоративними секретами.

Відхилення від планового напрямку, пов'язані зі збільшенням глибин буріння та з іншими причинами, спричиняють серйозні порушення сітки розвідки та розробки родовища. Стовбури, що мають зміщення щодо заданого плану, найчастіше мають уступи і різкі перегини, які можуть впливати на результати проведення, кріплення і експлуатації. Викривлення стволів може так значно ускладнити процес буріння, що його доведеться припинити, не досягнувши заданих глибин. У той же час проведення свердловин у заданому напрямку з потрібною точністю дозволяє уникнути небажаних наслідків, пов'язаних з їх викривленням свердловин, а також збільшити швидкісні показники буріння і зменшити економічні витрати.

В даний час управління траєкторією здійснюється через непряму систему вимірювання кута повороту бурильної колони - по моменту, що розвивається приводним електричним двигуном - асинхронним або двигуном постійного струму. Взаємодія полягає у повороті бурильної колони за годинниковою стрілкою або у зворотному напрямку на деякий кут, а у разі глибокого буріння – на кілька обертів, так як бурильна колона при великих лінійних розмірах виявляється нежорсткою. За такого управління кутом повороту колони точність багато чому визначається досвідом бурового майстра та її інтуїцією. Але такий

підхід завжди супроводжується небезпекою появи суб'єктивних помилок майстра, які можуть призводити до позаштатних ситуацій та аварій.

Основною метою випускної кваліфікаційної роботи є розробка системи управління, здатної підтримувати задане кутове положення робочого органу бурильної колони – зазвичай роторного забійного інструменту – при бурінні глибоких свердловин.

Щоб досягти поставленої мети, було визначено такі завдання:

Розробка функціональної схеми системи керування кутом повороту бурильної колони.

Створення математичних моделей елементів системи управління:

2.1. Математична модель колони бурильних труб, включаючи вибійну частина у вигляді турбобура.

2.2. Математическая модель електричного приводу бурильної колони.

Розробка математичної моделі структурної схеми системи керування об'єктами.

Синтез регулятора системи управління кутом повороту бурильної колони.

Дослідження комп'ютерної моделі системи керування кутом повороту бурильної колони.

Об'єктом дослідження є бурова установка для похило-спрямованих нафтогазових свердловин.

Мета роботи – розробка системи управління підтримки заданого напрямку забійного інструменту розробки похило-спрямованих нафтогазових свердловин.

У процесі дослідження проведено аналіз способів управління кутовим положенням вибійного інструменту бурильної колони, обґрунтовано та обрано варіант системи автоматичного управління (САУ), що дозволяє в одному з режимів – від ручного до автоматичного – використовувати об'єктивні дані інклінометра на принципі зворотного зв'язку.

В результаті дослідження були розроблені: функціональна та структурна схеми САУ управління положенням забійного інструменту, а також

комп'ютерна модель цієї САУ.

Область застосування: систему можна застосовувати під час буріння глибоких похило-спрямованих свердловин.

Економічна ефективність/значимість роботи: передбачається, що, пов'язані з бурінням похило-спрямованих свердловин, знизяться, зокрема і матеріальні, і тимчасові. Проте дати точну оцінку економічної ефективності проекту досить важко, оскільки потрібні великі дослідження та наявність великого обсягу важкодоступної корпоративної інформації.

У найближчому майбутньому планується уточнити розроблену комп'ютерну модель системи управління становищем робочого органу бурильної колони.

Ключові слова: буріння похилих нафтогазових свердловин, система керування кутовим положенням забійного інструменту, математична модель бурильної колони, двомасова система.

Розділ 1. Розробка функціональної схеми системи керування положенням робочого органу бурильної колони

1.1. Постановка задачі розробки системи керування кутом повороту бурильної колони

У процесі похило-спрямованого буріння обертається роторний двигун забійного інструменту, що приводиться в дію буровим розчином, що подається до вибою під великим тиском. З позицій управління важливо, що частина роторного забійного інструменту, що обертається, контактує з руйнованою породою, створює реактивний момент, що діє на бурильну колону і спрямований у зворотний бік. У цьому сенсі такий момент обурює систему управління. Також на колону діють сили тяжіння, сухого і в'язкого тертя, що залежать від контакту труб колони з її породою, через яку проходить свердловина. Ці сили також розглядаються такими, що обурюють [23]. Досвід показує, що основною силою, що впливає на відхилення долота від заданого положення кута, є реактивний момент, що виникає при роботі забійного роторного двигуна.

На основі наявних уявлень про процес буріння та його технічні засоби можна скласти спрощену модель бурової установки з діючими моментами та збуреннями (рисунок 1). На схемі використовуються такі позначення:

M - Електромагнітний момент двигуна, що обертає бурильну колону;

M_{c1} – електричні втрати у двигуні та механічні втрати у передачах. Крім цього, у цей момент закладаються сили опору, які розподілені по всій свердловій колоні;

M_{12} - Пружний момент, що виникає при скручуванні бурової колони;

M_{c2} – реактивний момент, що виникає при обертанні двигуна.

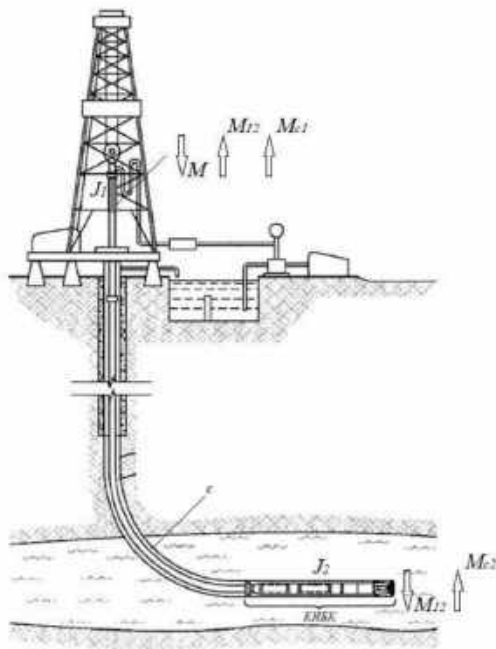


Рисунок 1 – Спрощена модель бурової установки з діючими моментами та збуреннями

Під час обертання бурильної колони двигун, розташований в гирлі свердловини, має електромагнітний момент M і йому протидіє момент ΔM , який включає електричні і механічні втрати - M_{c1} . Також у цей момент ΔM входить пружний момент M_{12} . Наведений момент двигуна вибійної частини – це пружний момент M_{12} з урахуванням впливу реактивного моменту M_{c2} . При цьому даний наведений момент буде меншим, ніж момент M . Це пояснюється силами, що впливають на систему, втратами всередині системи, а також характеристиками породи [17].

При обертанні бурильної колони двигуни, розташовані у вибійній частині та гирлі свердловини, пов'язані між собою буровими трубами. Пружний зв'язок між цими масами характеризується наведеною еквівалентною жорсткістю, що має бути враховано при вдосконаленні моделі САУ.

Для більш обґрунтованого та точного розгляду функціональної схеми САУ управління кутом повороту бурильної колони звернемося до розгляду

складу САУ та призначення основних її елементів.

1.2. Склад бурової установки

Для реалізації системи управління положенням бурильної колони необхідно виділити та розглянути основні її елементи. Як елементи можна виділити: систему верхнього приводу, бурильну колону і компоновання низу бурильної колони.

1.2.1. Система верхнього приводу

Система верхнього приводу з точки зору керування призначена для зміни кутового положення робочого інструменту у вибої.

В даний час на бурових установках набирає популярності система верхнього приводу (СВП) для обертання бурильної колони. Дана система дозволяє скоротити час допоміжних операцій, наприклад, нарощування труб під час буріння, підвищити точність проводки свердловин при спрямованому бурінні, скоротити ймовірність прихвату робочого інструменту, а також полегшити спуск обсадних труб в ускладнених зонах. Крім цього, скорочується термін буріння та будівництва свердловини.

Система верхнього приводу (рисунок 2) кріпиться до талового блоку та розташовується над гирлом свердловини.

Представлена система є приводним пристроєм, до складу якого входять пристрої [21]:

- Перетворювальне – здійснює перетворення струму, частоти, рівня напруги чи числа фаз.
- Електродвигун - перетворює електричну енергію в механічну і навпаки (електродвигуни змінного або постійного струму).
- Передатне – передає механічну енергію від електродвигуна до виконавчого (редуктор, ремінна передача тощо).
- Виконавче – здійснює технологічні та виробничі операції (шпindelь токарного верстата, бурильна колона, крильчатка насосів тощо).

- Керуюче – керує електроруховим та передавальним пристроями (мікропроцесори, комп'ютери, програмовані контролери тощо).



Рисунок 2 – Загальний вигляд системи верхнього приводу

1.2.2. Бурильна колона

Бурильна колона є сполучним елементом породоруйнівного інструменту із наземним обладнанням (системою верхнього приводу). Основне завдання колони – забезпечення гідравлічного та механічного зв'язку працюючого на вибої інструменту та стовбура свердловини. У процесі буріння за допомогою бурильної колони виконуються дві значущі функції: її обертання та очищення стовбура свердловини від вибуреної породи [1].

Операції зі складання та розбирання бурильної колони на одиночні труби не проводиться, так як ця процедура займає велику кількість розбирання. У зв'язку з цим окремі труби компонують в свічку, що складається з двох, трьох або чотирьох труб різної довжини [24].

1.2.3. Компонування низу бурильної колони

Компонування низу бурильної колони також допускається розглядати як комплекс елементів, що складається з системи телеметрії, пристрою, що

відхиляє, породоруйнуючого інструменту, обтяжених бурильних труб (УТБ), призначених для збільшення жорсткості і маси низу бурильної колони, забійного двигуна, а також інструменти для центрування та калібрування. .

Вигляд компонування низу бурильної колони визначається виходячи з цілей застосування конструкції.



Рисунок 3 – Загальний вигляд КНБК

Системи телеметрії

Системи телеметрії використовують для отримання інформації про траєкторію руху робочого інструменту, про режими буріння та технічний стан свердловин і т.д. Основним елементом таких систем є канал зв'язку пристроїв, що знаходяться на глибині, із пристроями на поверхні.

Телесистеми мають три види каналів зв'язку передачі інформації з датчиків, розташованих у КНБК, до апаратури на поверхні, а саме [10]:

- електричні лінії;
- гідравлічний канал;
- електромагнітне поле.

Електричні лінії мають велику кількість переваг: швидкодія, велика інформативність, стійкість до перешкод, надійність і ряд інших. Однак цей вид каналу не набув великої популярності, оскільки наявність кабелю в бурильній колоні створює труднощі при бурінні: необхідно передбачити захист від механічних пошкоджень, а також прокласти його. Всі ці операції займають достатньо часу [17].

Передача інформації з допомогою електромагнітного поля позбавлена вищеписаних недоліків. Даний вид передачі інформації є простим в

управлінні, має зворотний зв'язок, має стійкість до абразивного бурового розчину. Недоліками цього є обмежена дальність дії, що залежить від матеріалу бурильних труб, а також складність виконання керуючого блоку [7].

Найбільш поширеним каналом зв'язку є гідравлічний канал. Інформація передається буровим розчином, що зменшує витрати на організацію каналу зв'язку. Ще однією перевагою є дальність дії каналу. Як недолік можна виділити обмежений обсяг інформації, що передається в реальному часі.

Для передачі інформаційних даних за допомогою бурового розчину використовують один із методів, реалізований на формі сигналу:

- Позитивний імпульс тиску.
- Негативний імпульс тиску.
- Незагасні гармонійні хвилі.

Перший метод заснований на застосуванні пристрою, що зменшує прохідний переріз труби у бурильній колонії, що дозволяє створювати позитивні імпульси тиску. Передача інформації здійснюється за допомогою спрацьовування пристрою певної кількості разів із конкретним інтервалом часу. Таким чином створюється набір імпульсів тиску, які розпізнаються та декодуються на поверхні.

Метод негативного імпульсу тиску має інший пристрій системи: клапан у відкритому стані з'єднує простір усередині труби та за її межами. Цей клапан створює негативний імпульс за рахунок перетікання невеликої кількості бурового розчину за межі бурильної труби. Аналогічно першому методу формується та передається інформація. Заключним етапом є декодування.

Відмінності двох перерахованих вище методів продемонстровані на рис 4 [10].

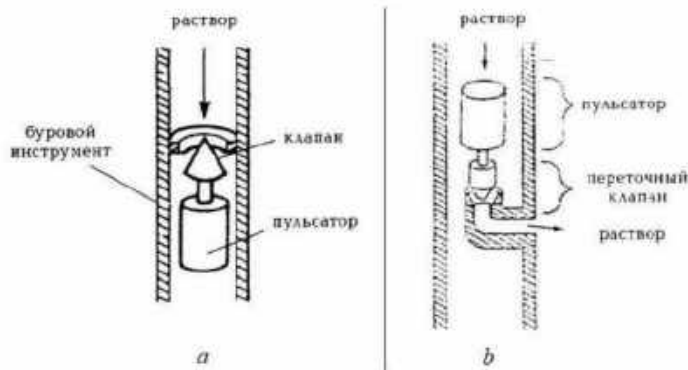


Рисунок 4 – Відмінності у виконанні методу позитивного імпульсу (а) та методу негативного імпульсу (b)

Останній метод менш поширеним, оскільки складний у реалізації, проти двома вищеописаними. На двигун, розташований у вибійній частині, встановлюється диск з прорізами. Навпаки, цей диск ставиться ще один диск. У процесі роботи двигуна створюються постійні зміни тиску, що незатухають, що в свою чергу призводить до появи незатухаючої гармонічної хвилі. Щоб сформувати блок інформації необхідно під час передачі інформації знизити швидкість двигуна. Устаткування, встановлене на поверхні, розпізнає ці зміни та декодує повідомлення [10].

Однією із систем, що використовують буровий розчин передачі інформації, є зарубіжна система вимірювання при бурінні (ІПБ) у реальному масштабі часу. До складу системи включений прилад інклінометр, що дозволяє вимірювати зенітний та азимутальні кути, крім цього забезпечує орієнтування робочого інструменту на вибої [10].

Датчики, що входять до системи ІПБ, дозволяють вимірювати зенітний та азимутальні кути, а також забезпечити орієнтування робочого інструменту. Як такі датчики використовують акселерометри та магнітометри. Перші датчики вимірюють параметри гравітаційного поля Землі, другі – магнітне поле. Інформація про орієнтацію датчиків по відношенню до напрямку полів, і самих напрямків, дозволяє встановити орієнтацію робочого органу, а також азимутальні та зенітні кути стовбура свердловини.

Відхиляючий пристрій

Важливим елементом є пристрій, що відхиляє. Цей пристрій використовується для керування зенітним кутом та азимутом. Найчастіше у ролі такого пристрою застосовують кривий перекладач [29]. Його використовують для створення штучного вигину в нижній частині КНБК. На малюнку 5 представлено схему кривого перекладача.

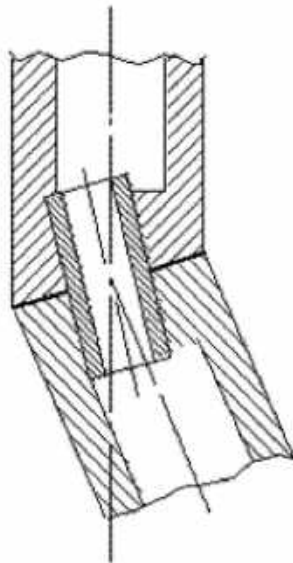


Рисунок 5 – Схема кривого перекладача

Орієнтування пристрою, що відхиляє, по заданому азимуту дозволяє керувати просторовим викривленням свердловини. Для цього на екрані бурового майстра відображається магнітне коло (рисунок 6), за допомогою якого визначається положення відхильника від якого, у свою чергу, залежать показники викривлення свердловини [29].

На рис також присутні області, якими визначається зростання або спад зенітного кута і азимуту.

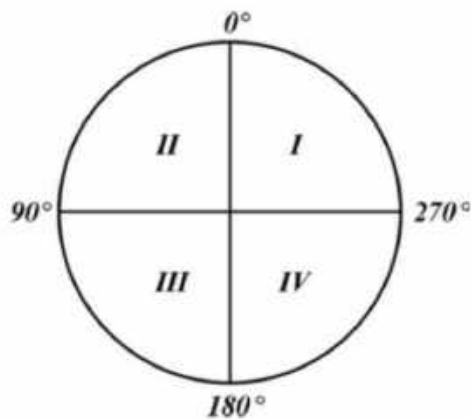


Рисунок 6 – Магнітне коло розташоване на екрані майстра

Вибійний двигун

Значним елементом у складі компоновання низу бурильної колони також є вибійний двигун.

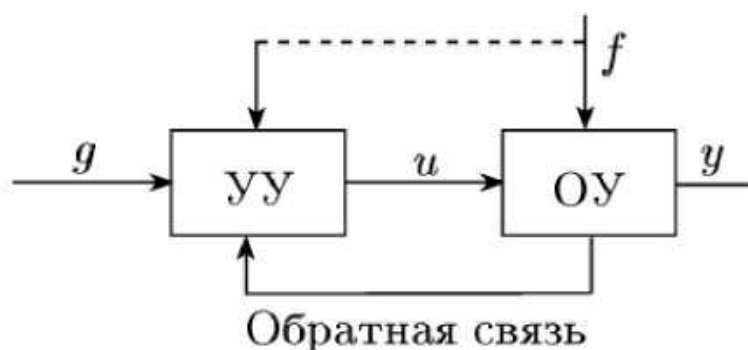
1.3. Спрощена функціональна схема управління бурильної колони

Важливим етапом при проектуванні пристроїв управління є розробка функціональної схеми. Вона дозволяє пояснити принципи роботи системи управління, відобразити фізично процеси в окремих елементах, а також проводити якісний аналіз елементів і системи в цілому.

В загальному випадку функціональна схема системи керування кутовим положенням бурильної колони та робочим органом може бути представлена у спрощеному вигляді, показаному на рис 7 [20].

Як задаючий вплив виступає вхідний керуючий вплив g , що визначає необхідний закон зміни вихідної змінної y .

На практиці, об'єкт управління схильний до впливу збурення f , що призводить до відхилення керованої змінної y від необхідного значення g [20]. Збурення f може також поширюватися на пристрій керування, і може бути не єдиним. Тоді під сигналом f розуміють векторну величину, яка містить кілька збурень.



g – задає вплив (завдання); u – керуючий вплив (управління); y – вихідна змінна (керований параметр);

f – вплив, що обурює (обурення); ОС – зворотний зв'язок; УУ - керуючий пристрій (регулятор); ОУ – об'єкт управління (бурильна колона).

Рисунок 7 – Спрощена функціональна схема системи керування бурильною колоною

У керуючий пристрій каналом зворотного зв'язку надходить сигнал, що визначає поточний стан об'єкта управління.

Об'єкт управління – це пристрій, яким потрібно керувати, у разі це бурильна колона.

1.4. Розширена функціональна схема системи керування кутом повороту бурильної колони

У процесі буріння свердловини, на бурову колону діють впливи, що обурюють, які призводять до відхилення положення робочого інструменту φ від необхідного значення. Тому необхідно компенсувати впливу цих впливів.

Інформація вихідний змінної передається через ланцюг зворотного зв'язку на вхід системи - на пристрій порівняння (суматор), де порівнюється з необхідною або заданою величиною кута, що дозволяє оцінити відмінність між цими сигналами і сформувати сигнал неузгодженості e .) і на підставі порівняння отриманих даних виробляється сигнал неузгодженості e . регулятор, в якому виробляється типовий закон управління, що визначає величину

сигналу, що управляє u .

Типова функціональна схема системи із зворотним зв'язком наведена на рис. 8.



Рисунок 8 – Функціональна схема системи управління бурильної колони

Як об'єкт управління виступає компонування, що включає в себе систему верхнього приводу, бурильну колону з її обтяженою частиною та забійним інструментом. У зворотному зв'язку системи є система телеметрії, що володіє датчиком - інклінометром, який вимірює поточне відхилення робочого інструменту. Ця інформація передається з вибою свердловини на комп'ютер бурового майстра, де відбувається декодування та її обробка. Додатковим елементом, що не входить до штатного обладнання, є регулятор об'єкта управління. Мета управління об'єктом управління – скорочення часових витрат під час буріння глибоких похило-спрямованих свердловин. Це досягається з допомогою підтримки заданого становища бурильної колони. Керованою змінною є кут положення компонування низу бурильної колони.

Розділ 2. Створення математичних моделей елементів системи керування

Найчастіше, гірські машини і механізми розглядають як багатомасові електромеханічні системи, наприклад, двох-або тримасових систем. системи як зосереджені маси [40].

Однак системи з розподіленими масами, зокрема стрічкові та скребкові конвеєри або бурові колони, викликають труднощі при математичному описі. Справа в тому, що для опису динамічних процесів використовуються диференціальні рівняння приватних похідних, тому аналіз процесів у таких системах скрутний [18]. При відомих припущеннях систему з розподіленими масами доречно подати як розрахункової еквівалентної схеми, що з низки зосереджених мас. Ці маси з'єднані між собою пружними елементами, що мають певну жорсткість. Кількість таких зосереджених мас може бути більшим, але, як показують дослідження, що обмежуються двома або трьома зосередженими масами [21].

2.1. Математична модель колони бурильних труб, включаючи вибійну частину у вигляді турбобура

Як було викладено раніше, описати бурильну колону можна за допомогою моделі, що містить дві, три або навіть більш зосереджених у точках мас. Вибір опису залежить від точності потрібної моделі. Для детального аналізу умови руху мас механізму можна скористатися тримасовою пружною системою. Двомасова система у свою чергу дозволяє проводити аналіз окремих фізичних особливостей. Щоб наведена розрахункова схема відповідала реаральній механічній системі повинен виконуватися закон збереження енергії у таких схемах.

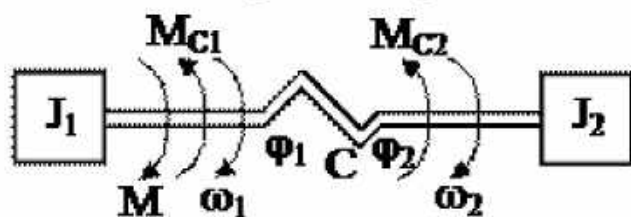
2.1.1. Двомасова система без урахування дисипативних сил

Для того, щоб отримати систему управління положення низу бурильної

колони необхідно мати кількісні характеристики елементів, перш за все електромеханічного приводу, бурильної колони та сил, що діють на ці елементи.

Бурильну колону допустимо розглядати у вигляді навантаження електроприводу, механічна частина якого складається з рухомої маси двигуна, передачі і робочої машини [21]., а також пружні зв'язки. Подання бурильної колони як багатомасової структури з Пружними зв'язками дозволяє зрозуміти, як передається вплив крутного моменту від двигуна, розташованого в гирлі свердловини, до забійної частини. містить n елементів. З цієї причини в ролі реальної структури з розподіленими параметрами допускається взяти аналогічну двомасову структуру, поклавши, що одна маса розташована в гирлі свердловини, а друга на вибої.

Така двомасова аналогічна структура з пружною механічною частиною і двома масами, що обертаються представлена на рис 9.



M - Електромагнітний момент, що створюється двигуном; M_{12} - наведений момент до другої маси; M_{c1} - момент опору, що діє першу масу; M_{c2} - момент опору, що діє на другу масу; ϕ_1 - кут скручування з боку першої маси; ϕ_2 - кут скручування з боку другої маси; ω_1 - кутова швидкість першої маси; ω_2 - кутова швидкість другої маси; c - жорсткість з'єднання мас.

Рисунок 9 – Подання двомасової аналогічної структури з пружною механічною частиною

До першої маси відноситься момент інерції J_1 , частини електродвигуна, що обертаються, зі швидкістю ω_1 , розташованого в гирлі свердловини, і частина бурильної колони, яка бере свій початок в гирлі свердловини і закінчується в вибої. Під час роботи двигуна створюється обертовий електромагнітний момент M . Цьому моменту M протидіють сили опору M_{c1} , до

складу яких входять електричні та механічні втрати двигуна.

Друга частина колони (обтяжена частина) позначена у вигляді другої маси, що обертається зі швидкістю ω_2 . У ролі цієї маси виступає компонування низу бурильної колони, до складу якої входять: вибійний двигун, обтяжені бурильні труби та система телеметрії, із загальним моментом інерції J_2 . Зв'язок між масами моделюється пружиною та характеризується жорсткістю c . Друга маса має один напрямок обертання з двигуном і її діє момент опору M_{c2} . Цей момент спрямований проти напрямку основного руху і включає: активні та реактивні навантаження. Під активними навантаженнями розуміються сили тяжіння, кручення пружних тіл, що діють на розподілену бурильну колону. У таких видах навантаження дія сил залишається постійним незалежно від напрямку руху бурильної колони [21].

Реактивні сили та моменти навпаки, змінюють свій напрямок разом зі зміною напрямку руху бурильної колони. До таких сил і моментів можна віднести силу сухого тертя, кручення непружних тіл і силу в'язкого внутрішнього тертя, що діє всередині бурильної колони.

Кути ϕ_1 і ϕ_2 – це кути скручування бурильної колони з боку гирла свердловини та з боку вибійної частини відповідно.

Щоб описати математично представлену модель, її необхідно розділити на три окремі частини, замінивши реальні зв'язки між верхньою, нижньою масою та бурильною трубою впливами (рисунок 10).

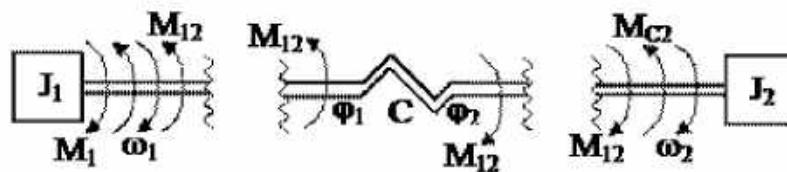


Рисунок 10 – Поділ двомасової аналогічної структури з пружною механічною частиною на три частини

З рисунка 10 визначено рівняння, які описують цю модель:

$$M_1 - M_{c1} - M_{12} = J_1 \frac{d\omega_1}{dt}. \quad (1)$$

$$M_{12} - M_{c2} = J_2 \frac{d\omega_2}{dt}. \quad (2)$$

$$M_{12} = c \cdot (\varphi_1 - \varphi_2). \quad (3)$$

Рівняння (1) та (2) складені за другим законом Ньютона і характеризують рівновагу моментів для обертального руху. Прийнято називати ці рівняння основними рівняннями руху приводу [21].

Рівняння (3), що характеризує пружний зв'язок, складено відповідно до закону Гука [21]. Перші дві рівності, які описують маси, що обертаються, являють собою диференціальні рівняння першого порядку. Щоб рівняння стали єдиного виду, необхідно продиференціювати рівняння (3):

$$\frac{dM_{12}}{dt} = c \cdot \left(\frac{d\varphi_1}{dt} - \frac{d\varphi_2}{dt} \right) = C \cdot (\omega_1 - \omega_2). \quad (4)$$

Тепер рівняння (1), (2) та (4) можна об'єднати в одну систему рівнянь руху [10]:

$$\begin{cases} M_1 - M_{c1} - M_{12} = J_1 \frac{d\omega_1}{dt} \\ M_{12} - M_{c2} = J_2 \frac{d\omega_2}{dt} \\ \frac{dM_{12}}{dt} = c \cdot (\omega_1 - \omega_2) \end{cases} \quad (5)$$

Слід зазначити, що наведені вище рівняння, що описують поведінку двомасової пружної системи, не враховують дисипативні сили типу в'язкого тертя, зазори, присутні в системі верхнього приводу, а також люфти в шарнірних з'єднаннях механізмів бурильної колоні. Це зроблено для простоти початкового етапу розв'язання задачі. Надалі ці особливості будуть враховані.

2.1.1.1. Зв'язок параметрів двох масової системи та бурильної колони

У процесі буріння жорсткість однієї ділянки бурильної колони під час кручення може бути знайдена за формулою [11]:

$$C_{кр} = \frac{\pi \cdot G \cdot (D^4 - d^4)}{32 \cdot l}, \quad (6)$$

де G - модуль пружності матеріалу, з якого виконана бурильна колона, Па;

D - Зовнішній діаметр труби, м;

d - Внутрішній діаметр труби, м;

l - Довжина ділянки труби, м.м.

Податливість труби визначається сумою крутильної та згинальної податливості. Так як податливість є зворотною величиною жорсткості, то:

$$C = \frac{1}{2} C_{кр} \quad (7)$$

Жорсткість усієї бурильної колони без обтяженої частини тоді можна визначити:

$$C_{бк} = \frac{C \cdot l}{L}, \quad (8)$$

де L - Довжина ділянки до обтяженої частини, м.

Вал електродвигуна, розташованого в гирлі свердловини, пов'язаний з бурильною колоною за допомогою механічної передачі (редуктор) з передатним ставленням i .

$$c = \frac{C_{бк}}{i^2}. \quad (9)$$

Моменти інерції першої та другої маси знаходяться:

$$J = \frac{L \cdot q \cdot (D^2 + d^2)}{8}, \quad (10)$$

де q – Маса одиниці довжини труби, кг/м.

З урахуванням привиду до валу двигуна:

$$J_{1,2} = \frac{J}{i^2}. \quad (11)$$

2.1.1.2. Структурна схема двомасової системи без урахування впливу дисипативних сил

За системою диференціальних рівнянь (5) можна скласти структурну схему двомасової системи без урахування впливу сил, що поглинають її енергію (дисипативних) (рисунок 11).

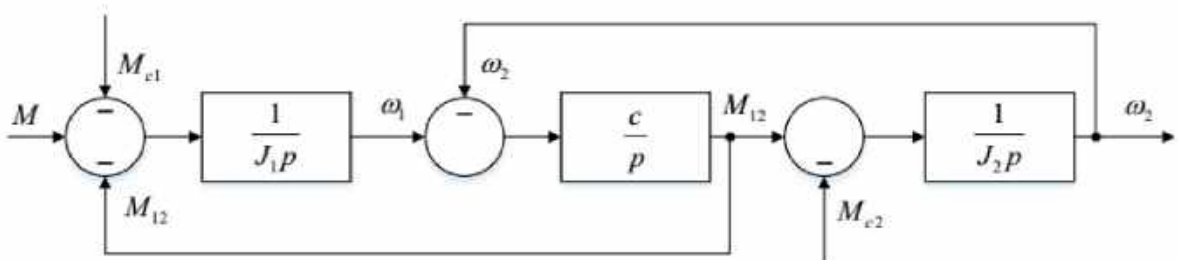


Рисунок 11 – Структурна схема пружної двомасової системи без урахування впливу дисипативних сил

Отримана структурна схема є складною для подальших досліджень, а також має перехресні зв'язки, тому необхідно провести структурні перетворення, в ході яких будуть визначені передатні функції: по впливу $W \omega_{2M}$, що керує впливом, $W \omega_{2Mc1}$, що обурює вплив $W \omega_{2Mc1}$ і збурюючому впливу $W \omega_{2Mc2}$.

2.1.1.3. Передатна функція з керуючого впливу

Як говорилося раніше, опис перехідних процесів у двомасовій системі проводиться за допомогою лінійних диференціальних рівнянь. Тому допустимо використати принцип суперпозиції. За допомогою цього принципу можна проводити дослідження систем з кількома вхідними впливами, що одночасно діють, і опускає вплив цих впливів, залишивши тільки одне. При цьому необхідно скласти всі прикладені дії на систему.

Використовуючи вищеописаний принцип, вважаємо, що M_{c1} і M_{c2} приймають значення, що дорівнює 0, тоді зі структурної схеми можна прибрати ці збурювальні впливи і структурна схема набуває вигляду, представленого на рис 12.

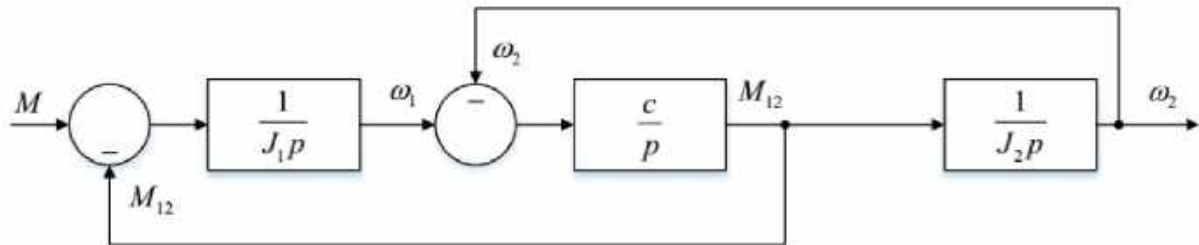


Рисунок 12 – Спрощення структурної схеми двомасової пружної системи: без урахування збурень

Наступним кроком можна перенести суматор із різницею швидкостей через лінійну ланку з елементом $J_1 p$, тобто. проти перебігу сигналу. При цьому потрібно додати зворотний передачу функцію, яка дорівнює зворотній передавальній функції ланки, що переноситься через суматор (рисунок 13).

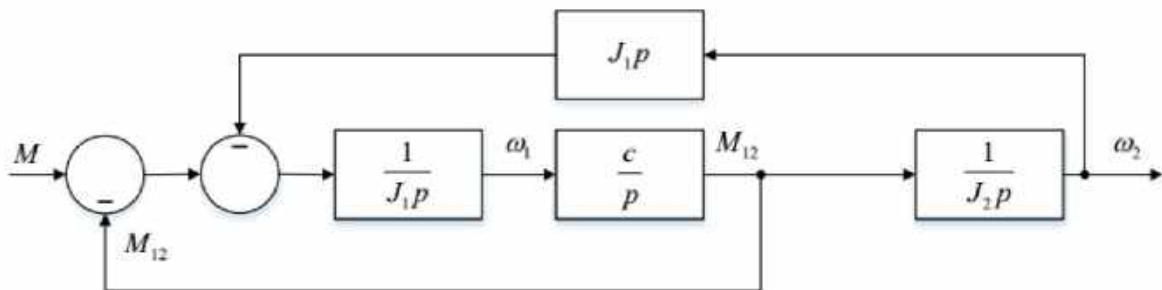


Рисунок 13 - Спрощення структурної схеми двомасової пружної системи: перенесення суматора через лінійну ланку

Якщо перенести суматор, в який входить момент M_{12} через другий суматор, то ланки, виділені пунктиром (рисунок 14), дозволяється подати у вигляді з'єднання двох ланок з одиничним зворотним зв'язком, передатна функція яких визначається виразом:

$$W_{oc}(p) = \frac{W_n(p)}{1 \pm W_n(p)}. \quad (12)$$

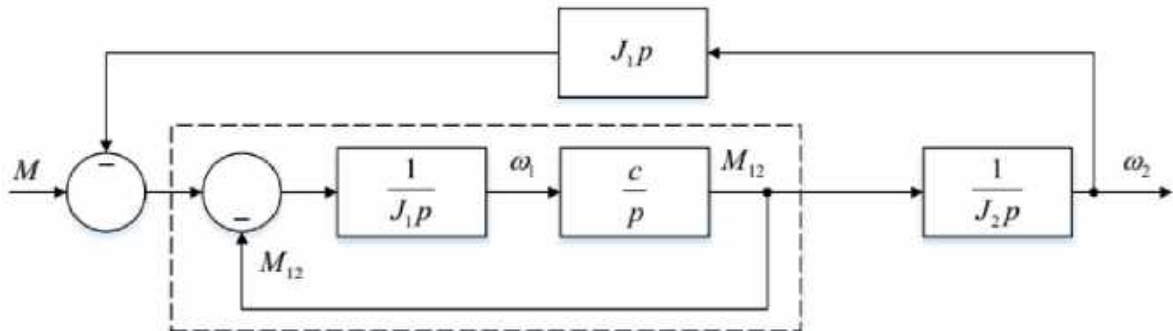


Рисунок 14 - Спрощення структурної схеми двомасової пружної системи: перестановка суматорів

Відповідно до формули (12) передатна функцію W_{oc} :

$$W_{oc}(p) = \frac{c}{J_1 p^2} \div \left(1 + \frac{c}{J_1 p^2}\right) = \frac{c}{J_1 p^2 + c}. \quad (13)$$

Оскільки зворотний зв'язок є негативним, знак у виразі (13) береться позитивним.

Підставивши ланку зі зворотним негативним зв'язком у структурну схему, остання набуде вигляду, показаного на рис 15.

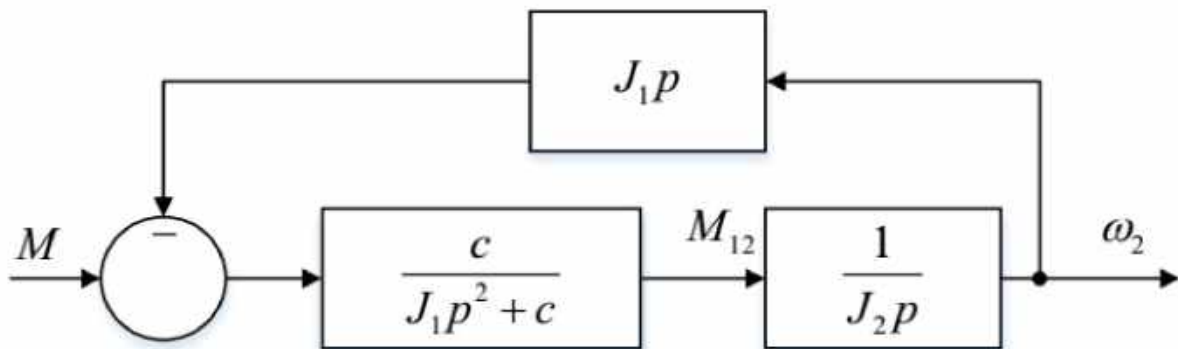


Рисунок 15 - Спрощення структурної схеми двомасової пружної системи: подання з'єднання ланки як W_{oc}

Отриману структурну схему на рис 15 можна також уявити у вигляді з'єднання ланок, охоплених зворотним зв'язком.

$$W_{oc}(p) = \frac{W_n(p)}{1 + W_n(p) \cdot W_o(p)}. \quad (14)$$

Підставляючи ланки, зображені на рис 15, у вираз (14), вийде перехідна функція двомасової пружної системи з управління, на вході якої електрорушійний момент, але в виході – кутова швидкість обертання бурильної колони.

$$W_{\omega_2 M}(p) = \frac{\omega_2(p)}{M(p)} = \frac{c}{J_1 J_2 p^3 + (J_1 + J_2)cp}. \quad (15)$$

2.1.1.4. Передатна функція з обурення Mc1

Відповідно до принципу суперпозиції, приймаємо M та $Mc2$ рівними 0, тоді структурна схема виглядатиме, як показано на рис 16.

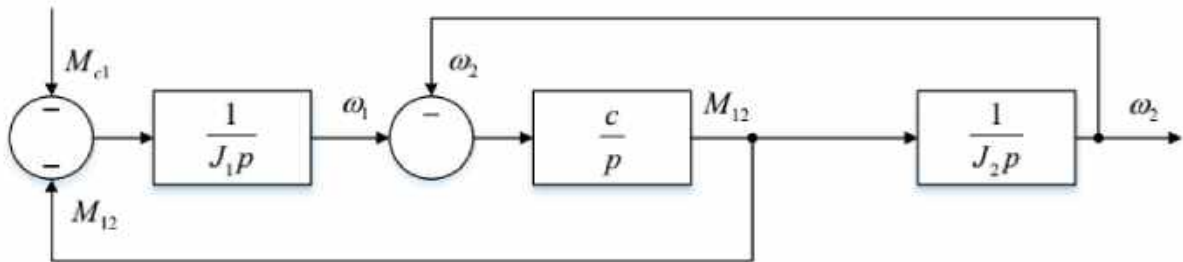


Рисунок 16 - Спрощення структурної схеми двомасової пружної системи: без урахування управління M та обурення $Mc2$

Перетворення здійснюються так само, як було описано раніше. Тоді передатна функція двомасової системи з обурення $Mc1$ і кутовою швидкістю обертання бурильної колони виглядатиме:

$$W_{\omega_2 M_{c1}}(p) = \frac{\omega_2(p)}{M_{c1}(p)} = -\frac{c}{J_1 J_2 p^3 + (J_1 + J_2)cp}. \quad (16)$$

Передавальна функція (15), і знову отримана передатна функція (16) збігаються, за одним винятком: передатна функція пообурення має негативний знак.

2.1.1.5. Передатна функція з обурення M_{c2}

Для отримання останньої передавальної функції приймаємо M та M_{c1} рівними 0, і структурна схема набуває вигляду як показано на рис 17.

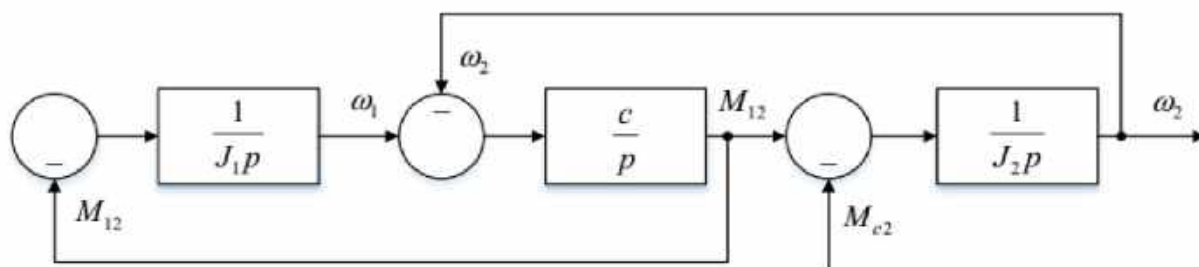


Рисунок 17 – Спрощення структурної схеми двомасової пружної системи: без урахування управління M та обурення M_{c1}

Першим дією по спрощенню структурної схеми двомасової пружної системи буде перенесення суматора, в якому віднімаються швидкості проти ходу сигналу через лінійну ланку з елементом $J_1 p$ (рисунок 18).

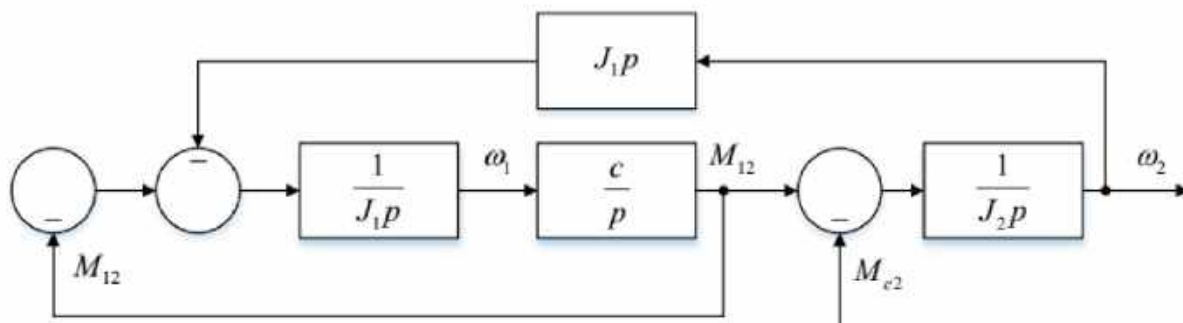


Рисунок 18 – Спрощення структурної схеми двомасової пружної системи: перенесення суматора через лінійну ланку

Помінявши місцями два ліві суматори, можна отримати дві ланки, які охоплені зворотним зв'язком (рисунок 19).

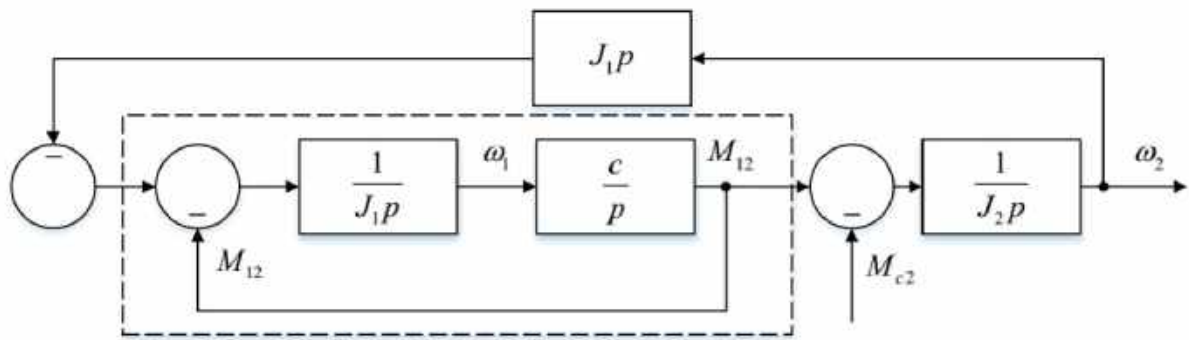


Рисунок 19 – Спрощення структурної схеми двомасової пружної системи: перестановка суматорів

Скориставшись рівнянням (14), структурна схема, представлена малюнку 19, згортається і її припустимо подати у більш звичному вигляді (рисунок 20).

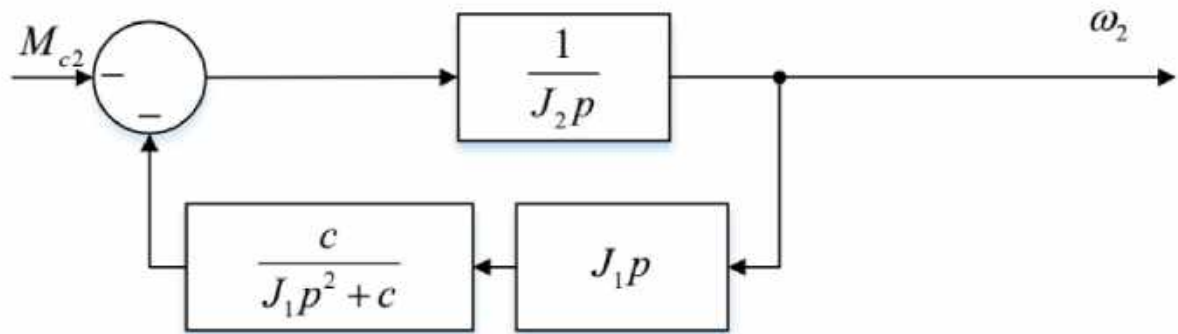


Рисунок 20 – Спрощення структурної схеми двомасової пружної системи. Повторивши вищеописану процедуру з представленою структурною схемою, була отримана передатна функція двомасової системи за впливом M_{c2} , що обурює, і кутовою швидкістю обертання бурильної колони:

$$W_{\omega_2, M_{c2}}(p) = \frac{\omega_2(p)}{M_{c2}(p)} = -\frac{J_1 p^2 + c}{J_1 J_2 p^3 + (J_1 + J_2) c p}. \quad (17)$$

Варто відзначити, що таке уявлення системи є ідеалізованим, так воно не враховує додаткових факторів. У реальній механічній системі присутні внутрішні сили та моменти, які є пропорційними швидкості деформації валів та інших елементів. Тобто ці сили та моменти при дії поглинають енергію коливань системи. Прикладом такої сили є внутрішнє в'язке тертя:

$$M_e = \beta \cdot (\omega_1 - \omega_2). \quad (18)$$

Залежно від знака швидкості змінюється знак моменту, у своїй знак механічної потужності залишається позитивним, отже, відбувається поглинання енергії коливань [21].

При бурінні неглибоких свердловин впливом зусиль і моментів в'язкого тертя можна знехтувати, оскільки де вони істотно впливають процес буріння. У процесі буріння глибоких свердловин необхідно враховувати дисипативні сили, які впливають систему.

2.1.2. Двомасова система з урахуванням дисипативних сил

Оскільки система управління орієнтована працювати з глибокими свердловинами, необхідно у системі рівнянь (5) врахувати в'язке тертя. Це досягається додаванням до системи рівняння (18). Тоді двомасова система з урахуванням дисипативних сил описується наведеними нижче рівняннями:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_1 - M_{\epsilon} - M_{12} = J_1 \frac{d\omega_1}{dt} \\ M_{12} + M_{\epsilon} - M_{c2} = J_2 \frac{d\omega_2}{dt} \\ \frac{dM_{12}}{dt} = c \cdot (\omega_1 - \omega_2) \\ \frac{dM_{\epsilon}}{dt} = \beta \cdot (\omega_1 - \omega_2) \end{array} \right. \quad (19)$$

Аналогічно двомасової пружної системи без урахування дисипативних сил за допомогою диференціальних рівнянь складається структурна схема двомасової системи з урахуванням дисипативних сил (рисунок 21).

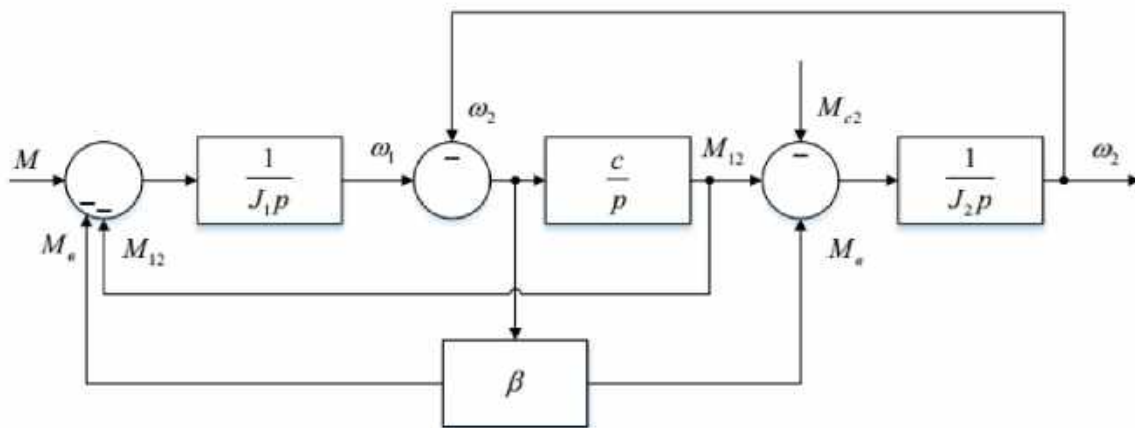


Рисунок 21 – Структурна схема пружної двомасової системи з урахуванням дисипативних сил

Проведення досліджень представленої схеми виявляється скрутним, як і в попередньому випадку, тому можна застосувати відомі правила перетворення структурних схем та отримати передатну функцію з керуючого впливу $W_{\omega_2 M}$.

2.1.2.1 Передатна функція з керуючого впливу

Прийнявши, що M_{e2} дорівнює 0, структурної схеми, зображеної малюнку 21, можна перейти до перетворення структурної схеми пружної двомасової системи з урахуванням дисипативних сил. По закінченню перетворень, спрощена схема управління двомасової пружної системи з урахуванням дисипативних сил з керуючого впливу набуде вигляду:

$$W_{\omega_2 M}(p) = \frac{\omega_2(p)}{M(p)} = \frac{c + \beta p}{J_1 J_2 p^3 + (J_1 + J_2) \beta p^2 + (J_1 + J_2) c p}. \quad (20)$$

Порівнявши формули (15) і (20), можна зробити висновок, що отримана схема пружної двомасової системи з керуючого впливу з урахуванням дисипативних сил вірна, так як при розкладанні ПФ (20) на найпростіші множники, утворюється інтегруючі та коливальні ланки. Коливальна ланка характеризується ступенем згасання, який у свою чергу залежить від коефіцієнта в'язкого тертя. Підставивши у формулу (20) коефіцієнт в'язкого

тертя дорівнює 0, вийде передатна функція двомасової системи без урахування в'язкого тертя.

2.2. Математична модель електричного приводу бурильної колони

Як говорилося раніше, для обертання бурильної колони використовують ротор чи систему верхнього приводу. В обох випадках необхідні регульовані приводи для значного підвищення надійності головних технологічних механізмів. Так, наприклад, спрощення кінематичної системи передач або забезпечення плавності пуску сприяє підвищенню продуктивності бурової установки, що, безсумнівно, позначається на економічному значенні.

Поставлені вимоги добре виконує регульований електропривід постійного струму. Внаслідок чого всі головні механізми бурової установки виконуються за системою тиристорний перетворювач двигун постійного струму. Регулювання швидкості приводів можна досягти за рахунок зміни напруги, яка прикладена до якоря двигуна, і зміни струму в обмотці збудження двигуна.

2.2.1. Математичний опис двигуна постійного струму з незалежним збудженням

Як недоліки двигунів постійного струму можна виділити: невисока надійність, складність в обслуговуванні та експлуатації, необхідні додаткові перетворювальні пристрої. Їхніми перевагами виступають: висока перевантажувальна здатність і пусковий момент [25]. Варто також відзначити, що при можливості двигун постійного струму замінюють асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором.

Для побудови структурної схеми двигуна постійного струму розглянемо рівняння Кірхгофа, які дозволяють отримати математичний вираз механічної характеристики двигуна:

$$U = E + I \cdot r, \quad (21)$$

де U - напруга, що подається на якір двигуна, В;

E - протиЕРС, В;

I – струм у якірному ланцюзі, А;

r - опір якірного ланцюга, Ом;

У процесі обертання якоря, у його обмотці індуктується ЕРС E , яке визначається:

$$E = \frac{p_n \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot \Phi \cdot \omega = c_\phi \cdot \omega, \quad (22)$$

де p_n - Число пар полюсів;

N - Число активних провідників в обмотці якоря; a – число пар паралельних гілок обмотки якоря; Φ - магнітний потік збудження, Вб;

ω - Кутова швидкість обертання якоря, рад / с;

c_ϕ – потокозчеплення обмотки якоря, що дорівнює добутку магнітного потоку Φ та конструктивного коефіцієнта c , Вб.

Струм якоря при цьому можна визначити за допомогою моменту:

$$I = \frac{M}{c_\phi}, \quad (23)$$

де M - електрорушійний момент, Нм.

Кутова швидкість обертання якоря може бути визначена, підставляючи вираз (20) та (19) у вираз (18). Тоді:

$$\omega = \frac{U}{c_\phi} - \frac{r}{c_\phi^2} \cdot M. \quad (24)$$

У більшості випадків електричний двигун постійного струму з незалежним збудженням працює при незмінному магнітному потоці Φ , отже, електромеханічні та механічні характеристики двигуна є лінійними.

З урахуванням вищесказаного, структурна схема двигуна постійного струму з незалежним збудженням набуде вигляду, представленого на малюнку 22.

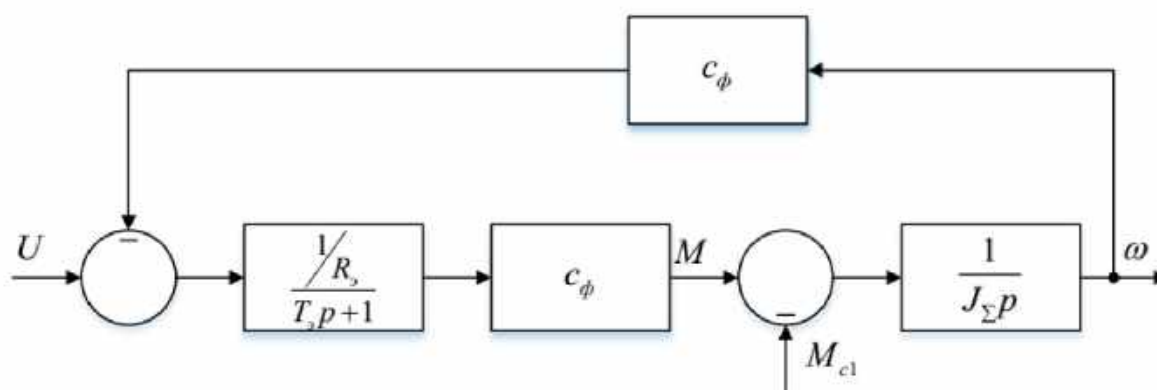


Рисунок 22 – Структурна схема двигуна постійного струму

2.2.2. Математичний опис асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

Асинхронний двигун широко застосовується у різних сферах, зокрема й у нафтогазовій галузі. Це пов'язано з простотою конструкції двигуна, високою надійністю та низькою вартістю двигуна. Як недоліки можна виділити великий пусковий струм, чутливість до параметрів мережі, регулювання швидкості необхідний перетворювач, також сюди можна віднести малий пусковий момент [21].

Механічна характеристика асинхронного двигуна є нелінійною та процеси, що протікають у двигуні, є складними. Тому допустимо використовувати лінійний опис двигуна, вважаючи, що електромагнітні процеси не мають істотного впливу на процеси, що протікають у двигуні [21].

Враховуючи вищесказане, структурна схема асинхронного двигуна набуває вигляду, представленого на рис 23.

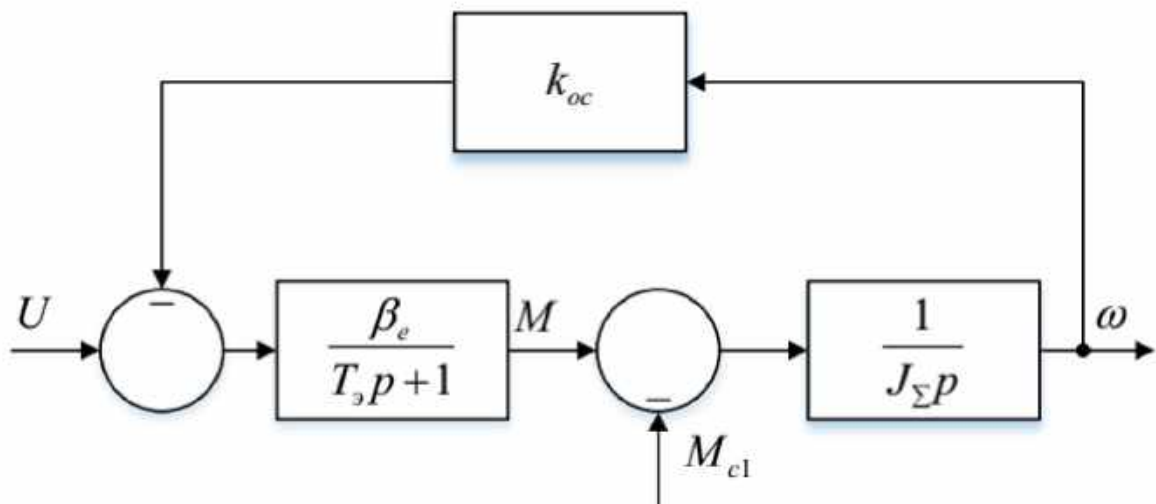


Рисунок 23 – Структурна схема асинхронного двигуна

Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики асинхронного двигуна [21]:

$$\beta_e = \frac{2 \cdot M_k}{\omega_0 \cdot s_k}, \quad (25)$$

де

M_k - максимальний момент обертання валу двигуна Нм;

ω_0 - синхронна кутова частота двигуна, рад/с;

s_k - Критичне ковзання.

Синхронна кутова частота двигуна:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_n}{P_n}, \quad (26)$$

де f_n - Частота напруги статора, Гц.

Електромагнітна постійна часу двигуна:

$$T_s = \frac{1}{\omega_0 \cdot s_k}. \quad (27)$$

Розділ 3. Розробка математичної моделі та структурної схеми системи управління положенням робочого органу бурильної колони

Основною метою даної випускної кваліфікаційної роботи є розробка системи управління, здатна змінювати азимутальний або зенітний кут робочого органу бурильної колони при похило-спрямованому бурінні глибоких свердловин. На траєкторію в процесі похило-спрямованого буріння дуже реактивно впливає момент, що намагається розгорнути колону. Тим самим зміщуючи положення робочого інструменту.

Як описувалося раніше, функціональна схема системи управління матиме вигляд, показаний на малюнку 8. Система верхнього приводу описується математичною моделлю електродвигуна, встановленого в ній. А інформація про поточне положення робочого інструменту передається за допомогою інклінометра з затримкою (15 – 30) секунд.

Однак, представлені моделі на рисунках 11 і 21, що описують поведінку механічної частини бурильної колони як двомасову пружну систему, регулюють кутову швидкість обертання робочого інструменту. Для того, щоб отримати систему керування положенням, необхідно додати до схеми, зображеної на малюнку 9 інтегруюча ланка. Тоді функціональна схема системи управління положенням робочого органу виглядатиме, як показано на рис 24.



Рисунок 24 – Функціональна схема системи керування положенням робочого органу бурильної колони

Схема системи керування положенням робочого органу бурильної колони з двигуном постійного струму

У додатку Б представлена на схема системи керування з двигуном постійного струму незалежного збудження. У системі є велика кількість перехресних зв'язків, що ускладнює подальші дослідження. Тому потрібно скористатися раніше описаними методами для перетворення структурної схеми, для спрощення згортання рівняння та отримання передавальної функції системи управління становищем робочого органу бурильної колони.

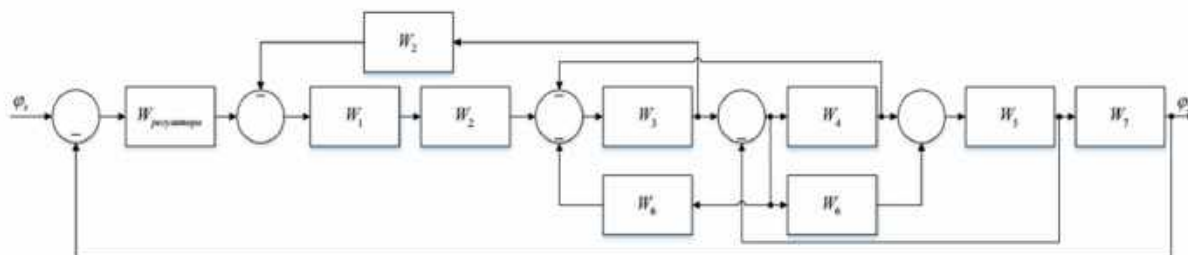


Рисунок 25 – Структурна схема управління положенням робочого інструменту бурильної колони

Перетворення структурної схеми здійснювалося для розімкнутої структурної схеми, зображеної на рис 25, і навіть без передавальної функції регулятора.

У представленій схемі використовуються структурні ланки, математичне опис яких описувалося раніше як двомасової пружної системи, так двигуна постійного струму незалежного збудження.

Знайдемо передавальні функції елементів САУ. Передавальні функції, що визначають динамічні властивості двигуна постійного струму незалежного збудження мають вигляд:

$$W_1(p) = \frac{k_{\text{мц}}}{T_{\text{мц}} p + 1}. \quad (28)$$

$$W_2(p) = c_{\phi}. \quad (29)$$

Передатна функція, що описує динамічні властивості першої розподіленої маси в гирлі свердловини:

$$W_3(p) = \frac{1}{J_1 p}. \quad (30)$$

Передатна функція, що становить жорсткість бурильної колони:

$$W_4(p) = \frac{c}{p}. \quad (31)$$

Передатна функція, що описує динамічні властивості другої розподіленої маси у вибої свердловини:

$$W_5(p) = \frac{1}{J_2 p}. \quad (32)$$

Передатна функція, що представляє коефіцієнт в'язкого тертя:

$$W_6(p) = \beta. \quad (33)$$

Передатна функція інтегруючої ланки, необхідна для переходу від кутової швидкості обертання бурильної колони до кута повороту:

$$W_7(p) = \frac{1}{p}. \quad (34)$$

Як передатні функції, що використовуються в спрощеній структурній схемі управління положенням робочого інструменту, використовуються такі передатні функції, які були отримані при перетворенні структурної схеми:

$$W_8(p) = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p) \cdot W_2(p)}. \quad (35)$$

$$W_9(p) = \frac{W_5(p) \cdot (W_4(p) + W_6(p))}{1 + W_5(p) \cdot (W_4(p) + W_6(p))}. \quad (36)$$

$$W_{10}(p) = \frac{W_7(p) \cdot W_8(p)}{1 + \frac{W_7(p) \cdot W_8(p) \cdot W_4(p)}{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_5(p) \cdot (W_4(p) + W_6(p))}}. \quad (37)$$

$$W_{11}(p) = \frac{W_9(p)}{1 + \frac{W_9(p) \cdot W_6(p)}{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_5(p) \cdot (W_4(p) + W_6(p))}}. \quad (38)$$

З урахуванням перетворень спрощена структурна схема з двигуном постійного струму та незалежним збудженням виглядатиме як показано на рис 26.

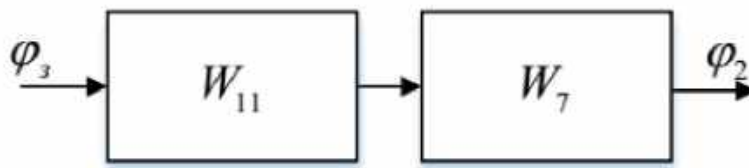


Рисунок 26 – Спрощена структурна схема керування положенням робочого інструменту з двигуном постійного струму

Подальша робота передбачає підстановку значень параметрів двигуна модель системи управління положенням робочого інструменту і двомасової системи.

У таблиці 1 наведено значення параметрів двомасової системи, розрахованих для розвідувальної свердловини [11].

Таблиця 1 - Значення параметрів, розрахованих для розвідувальної свердловини

$J_1, \text{кгм}^2$	$J_2, \text{кгм}^2$	$c, \text{Нм}$	β
5,07	1,34	4,92	0,426

Як двигун для системи приводу був обраний ДПВ-52. Це пояснюється тим, що вказаний наведено всі необхідні параметри для системи [4]. Параметри двигуна ДПВ-52 представлені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Параметри двигуна ДПВ-52

Найменування	Од. вимірювання	Позначення	Величина
Опір якірного ланцюга	Ом	$R_{яц}$	0,16
Постійна часи корної ланцюги	С	$T_{яц}$	0,08
Конструктивний коефіцієнт.	-	c_ϕ	4,67

двигуна			
---------	--	--	--

Для двомасової системи параметри наведені в таблиці 1. Тоді математична модель двигуна постійного струму незалежного збудження з навантаженням у вигляді двомасової системи з дисипативними силами набуде вигляду, представленого на рис 27.

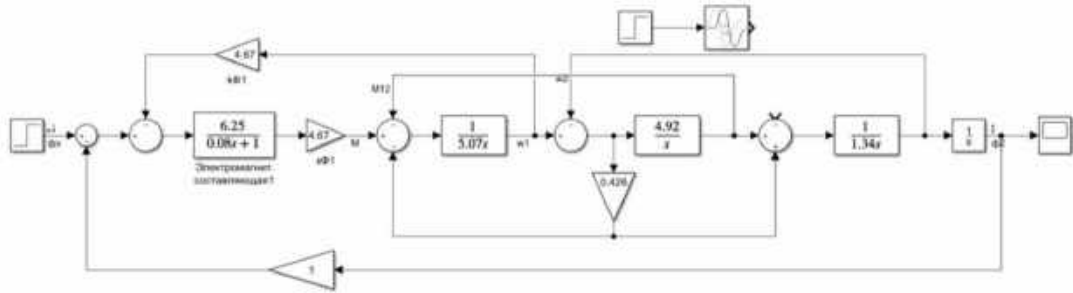


Рисунок27 – Модель двигуна постійного струму з навантаженням у вигляді двомасової системи з дисипативними силами

Передавальна функція моделі двигуна постійного струму із навантаженням у вигляді двомасової системи визначається:

$$W_{\varphi, \varphi}(p) = \frac{k_m c_\phi (c + \beta p)}{J_1 J_2 T_m p^5 + (J_1 J_2 + J_1 \beta T_m + J_2 \beta T_m) p^4 + (J_1 T_m c + J_2 T_m c + J_1 \beta + J_2 \beta + J_2 c_\phi^2 k_m) p^3 + (J_1 c + J_2 c + \beta c_\phi^2 k_m) p^2 + c k_m c_\phi^2 p} \quad (39)$$

Підставивши дані з таблиць 1 і 2, отримаємо значення коефіцієнтів моделі двигуна постійного струму з навантаженням у вигляді двомасової системи:

$$W_{\varphi, \varphi}(p) = \frac{29,19(4,92 + 0,43p)}{0,54p^5 + 7p^4 + 187,9p^3 + 89,6p^2 + 670,6p}.$$

3.2. Схема керування положенням робочого органу бурильної колони з асинхронним двигуном

У зарубіжних системах верхнього приводу компанії Varco використовують двигуни потужністю від 400 к.с. Спираючись на наявну інформацію, був підібраний асинхронний двигун Baldor ECP44402T-4, який використовують у системі верхнього приводу. Параметри цього двигуна представлені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Параметри асинхронного двигуна ЕСР44402Т-4

Найменування	Од. вимірювання	Позначення	Величина
Номінальний момент	Нм	М _{ном}	780,22
Критичний момент	Нм	М _{кр}	1995,74
Число пар полюсів	-	р _п	1
Потужність двигуна	кВт	Р _{дв}	400
Частота напруги живлення	Гц	f _н	60
Максимальна швидкість обертання ротора	об/хв	n _{макс}	3600
Номінальна швидкість обертання ротора	об/хв	n _{ном}	3570

Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики асинхронного двигуна можна визначити за формулою (25), а електромагнітна постійну часу двигуна за формулою (27). Однак, щоб визначити ці показники необхідно розрахувати коефіцієнт перевантажувальної здатності та критичне ковзання.

Спочатку визначимо кутову швидкість обертання поля статора за формулою (26) [3]:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 60}{1} = 376,8 \text{ рад/с.}$$

Наведену в таблиці 3 номінальну швидкість обертання ротора потрібно перекласти одним величинам за формулою:

$$\omega_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{ном}}{60}. \quad (40)$$

Підставивши вирази отримаємо:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3570}{60} = 373,66 \text{ рад/с.}$$

Тепер можна визначити ковзання асинхронного двигуна за формулою [21]:

$$s = \frac{\omega_0 - \omega_{ном}}{\omega_0}. \quad (41)$$

Підставляючи дані з раніше знайдених значень, ковзання набуває значення:

$$s = \frac{376,8 - 373,66}{376,8} = 8,3 \cdot 10^{-3}.$$

Для того, щоб визначити критичне ковзання двигуна, потрібно обчислити коефіцієнт перевантажувальної здатності [3]:

$$k_M = \frac{M_{кр}}{M_{ном}}. \quad (42)$$

Підставивши значення моментом, отримаємо:

$$k_M = \frac{1995,74}{780,22} \approx 2,56.$$

Тоді критичне ковзання [3]:

$$s_k = s \cdot (k_M + \sqrt{k_M^2 + 1}). \quad (43)$$

Підставимо знайдені значення ковзання і коефіцієнта перевантажувальної здатності та отримаємо [4]:

$$s_k = 0,0083 \cdot (2,56 + \sqrt{6,55 + 1}) \approx 44,01 \cdot 10^{-3}.$$

Тепер за формулою(25) визначимо модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики асинхронного двигуна:

$$\beta_c = \frac{2 \cdot 1995,74}{376,8 \cdot 0,04401} \approx 240,69 \text{ (Н/м)}.$$

А потім електромагнітну постійну часу двигуна:

$$T_s = \frac{1}{376,8 \cdot 0,04401} \approx 0,06 \text{ с.}$$

Підставимо розраховані значення модель асинхронного двигуна з навантаженням у вигляді двомасової системи з дисипативними силами, тоді вона набуде вигляду, показаного на рис 28. Параметри для двомасової системи взяті з таблиці 1.

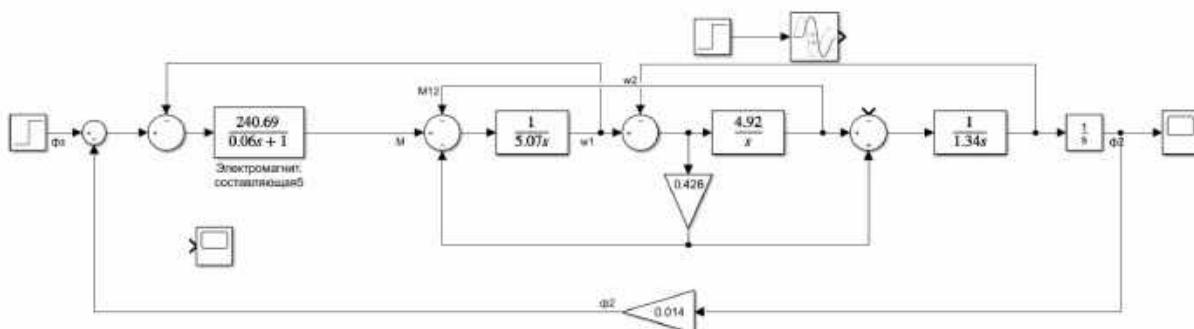


Рисунок 28 – Модель асинхронного двигуна з навантаженням у вигляді двомасової системи з дисипативними силами

Передаточна функція моделі асинхронного двигуна із навантаженням у вигляді двомасової системи визначається:

$$W_{\varphi_2 \varphi_1}(p) = \frac{\beta_2(c + \beta p)}{J_1 J_2 T_s p^5 + (J_1 J_2 + J_1 \beta T_s + J_2 \beta T_s) p^4 + (J_1 T_s c + J_2 T_s c + J_1 \beta + J_2 \beta + J_2 \beta_s) p^3 + (J_1 c + J_2 c + \beta \beta_s) p^2 + (\beta \beta_s + \beta_s c) p + \beta_s c}. \quad (44)$$

Підставивши дані з таблиць 1 та 3 отримаємо значення коефіцієнтів моделі асинхронного двигуна з навантаженням у вигляді двомасової системи:

$$W_{\varphi_2 \varphi_1}(p) = \frac{240,69(4,92 + 0,43p)}{0,41p^5 + 6,96p^4 + 327,14p^3 + 134,1p^2 + 1286,72p + 1184,19}.$$

Розділ 4. Синтез системи підлеглого регулювання під час управління положенням робочого інструменту бурильної колони

На практиці регулятор САУ будують на основі триконтурної структури та підлеглого управління, коли виділяють контури управління кутом повороту валу двигуна, швидкістю обертання валу двигуна та електрорушійним моментом – моментом, що розвивається двигуном. Така триконтурна система має три регулятори, що дозволяє використовувати три різні засоби корекції динамічних властивостей САУ.

Моделі регуляторів визначають на основі будь-якого методу їхнього синтезу. Існує велика кількість різних методів вирішення цього завдання. Найбільш поширеним інженерним методом є послідовний синтез регуляторів за контурами, починаючи з внутрішнього – контуру струму (моменту). У разі двигуна постійного струму структурна схема САУ є триконтурною, вона представлена на рис. 29 [6].

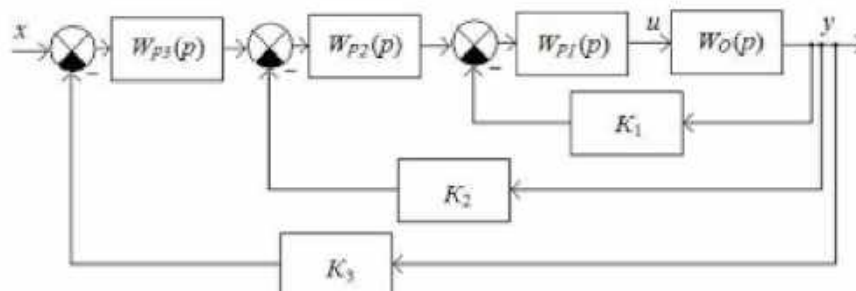


Рисунок 29 – Структурна схема триконтурної системи автоматичного керування електроприводу

Модель системи управління є багатоконтурною, тому використовують синтез регуляторів на основі підлеглого регулювання. Першим етапом розбивається модель на ланки таким чином, щоб вихідні величини ланок були фізичні величини, які становлять інтерес для управління та контролю. У разі такими величинами є кутова швидкість переміщення і кут переміщення робочого інструмента.

Кожна з регульованих величин має замкнутий контур з регулюванням по

відхилення. До складу контуру входить також регулятор.

Регулятори з'єднані між собою послідовно, тому попередній регулятор виробляє завдання для наступного, що відображається в терміні - підпорядковане управління.

При налаштуванні системи можна вибрати варіант налаштування системи: налаштування на технічний (модульний) або симетричний оптимум [5].

Залежно від типу налаштування змінюються та динамічні показники перехідного процесу. Якщо налаштування проводити на технічний (модульний) оптимум, можна домогтися часу перехідного процесу, що не перевищує значення твору малої некомпенсованої часу T_m і 4,7 секунд, і перерегулювання не перевищує 4.3%. Ця установка застосовується для систем, в яких не потрібна висока точність. Для підвищення точності можна використовувати налаштування на симетричний оптимум.

У задачі управління кутом положення робочого органу бурильної колони використовувалася налаштування регулятора на технічний (модульний оптимум).

4.1. Синтез підлеглого регулювання системи керування положенням робочого інструменту бурильної колони з двигуном постійного струму

Для регулювання потоку електричної енергії двигуна постійного струму застосовують тиристорний перетворювач. Його застосування пояснюється тим, що він має високу швидкодію та високий ККД, енергетичні втрати при цьому становлять від 1 до 2 % від номінальної потужності електроприводу.

Так як тиристорний перетворювач широко застосовується з двигуном постійного струму необхідно привести його математичну модель, а також врахувати моделі двигуна постійного струму з навантаженням як двомасовою системою, зображеної на рис 30.

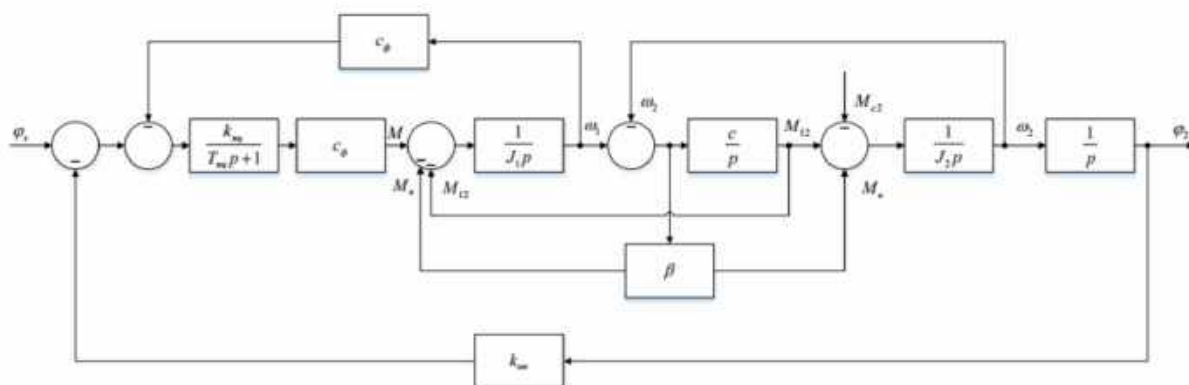


Рисунок 30 – Модель двигуна постійного струму із навантаженням у вигляді двомасової системи

З моделі, представленій на малюнку 30, виділимо для зручності контур, в якому присутній математичний опис двигуна постійного струму та навантаження у вигляді першої розподіленої маси – частина бурильної колони, яка бере початок у гирлі свердловини і закінчується в місці з'єднання з компонуванням низу бурильної колони (рисунок 31). Також до цього контуру додамо математичну модель тиристорного перетворювача.

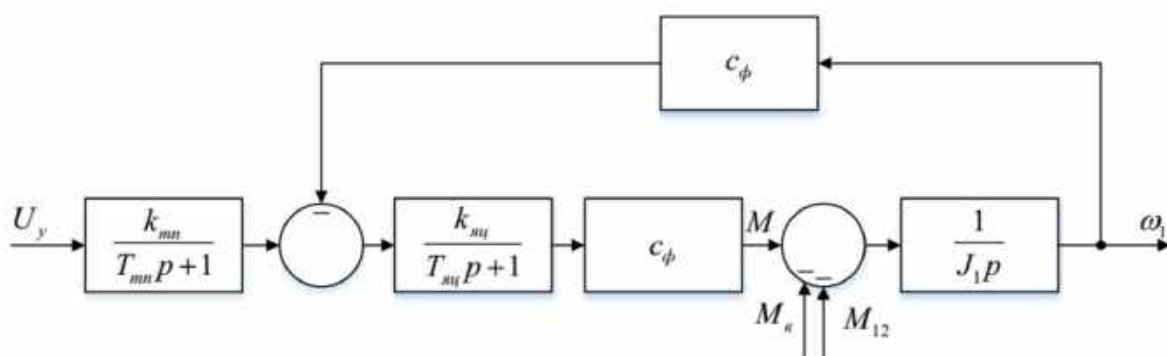


Рисунок 31 – Виділений контур моделі двигуна постійного струму з тиристорним перетворювачем та навантаженням у вигляді першої розподіленої маси

Тиристорний перетворювач описується аперіодичним ланкою першого порядку. До складу ланки входить статичний коефіцієнт посилення $k_{тп}$ та постійна часу $T_{тп}$.

Статичний коефіцієнт посилення перетворювача розраховується так:

$$k_{mn} = \frac{U_n}{U_y}, \quad (45)$$

де U_y - Уніфікований сигнал управління, Ст.

Підставивши дані [3] отримаємо статичний коефіцієнт посилення перетворювача:

$$k_{mn} = \frac{305}{10} = 30,5 .$$

Постійна часу T_{μ} перетворювача [6]:

$$T_{mn} = T_{\mu} = \frac{J_1 \cdot R_{\mu}}{C_{\phi}^2}. \quad (46)$$

Постійна часу після підстановки [3] набуде значення:

$$T_{mn} = T_{\mu} = \frac{5,07 \cdot 0,16}{21,81} \approx 37,2 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

4.1.1. Синтез регулятора рушійного моменту (струму)

Регулювання моменту та струму двигуна дозволяють досягти нормального функціонування електроприводу. Так, наприклад, для механізмів, які зазнають під час роботи значних навантажень, з'являється необхідність безперервного регулювання моменту, щоб обмежити динамічні ударні навантаження обладнання.

Контур струму або моменту, утворений такими ланками: регулятором струму (РТ), тиристорним перетворювачем (ТП), якірним ланцюгом (ЯЦ) двигуна постійного струму та датчиком струму (ДТ). Також контур охоплений зворотним негативним зв'язком струму з коефіцієнтом передачі кот (рисунок 32). Однак у цьому контурі не враховується ЕРС двигуна. Це тим, що швидкість зміни струму перевищує швидкість зміни ЕРС, тому їй можна знехтувати.

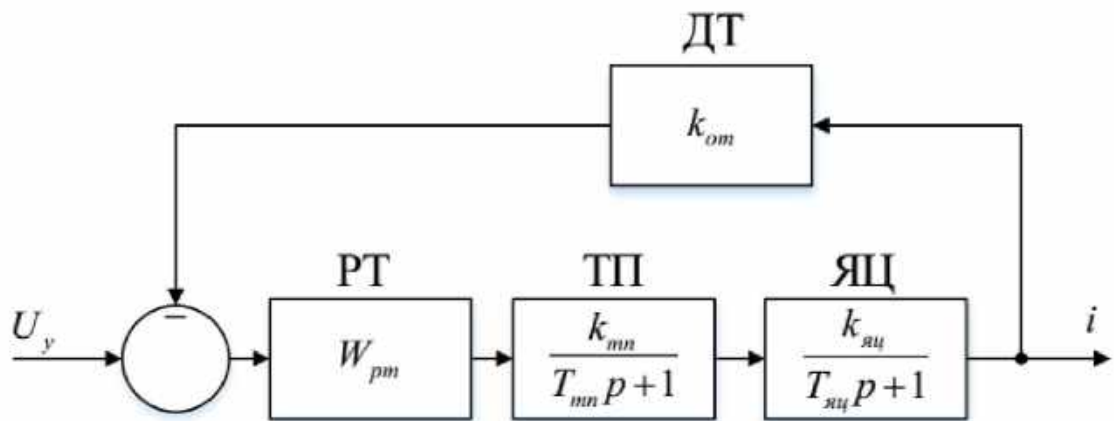


Рисунок 32 – Структурна схема замкнутого контуру струму двигуна постійного струму

У цьому контурі регулювання є «велика» постійна часу T_i , яку необхідно компенсувати регулятором струму. Ця компенсація дозволить підвищити швидкодію контуру регулювання струму. Реальні інерційні ланки у своїй залишаються у контурі. Також у контурі залишаються малі постійні часу T ланок. Їх компенсація є важкою, а вплив на швидкодію зменшується [21].

Оптимізований контур є складовою об'єкта управління в контурі регулювання швидкості. Динамічні якості системи керування приводом значною мірою залежить від його швидкодії.

На практиці для настроювання контуру регулювання координат електроприводу використовують інженерний метод синтезу. Бажана передатна функція розімкнутого контуру з урахуванням непоодинокого зворотного зв'язку інженерного методу представлена нижче [21]:

$$W_{\text{ж рзг}}(p) = \frac{1/k_{om}}{a_m \cdot T_\mu p \cdot (T_\mu p + 1)} \quad (47)$$

Відповідно до рисунка 32, передатна функція об'єкта регулювання:

$$W_{op}(p) = \frac{k_{mn} \cdot k_{яц}}{(T_{mn} p + 1) \cdot (T_{яц} p + 1)} \quad (48)$$

Поділивши передавальну функцію (47) на ПФ (48), виходить передатна

функція регулятора струму:

$$W_{pm}(p) = \frac{W_{ж\,раз}(p)}{W_{op}(p)} = \frac{(T_{яц}p+1)}{a_m \cdot k_{om} \cdot k_{mn} \cdot k_{яц} \cdot T_{\mu}p} = \frac{T_{яц}}{T_m} + \frac{1}{T_m p}. \quad (49)$$

Виходячи з цього, регулятор є пропорційно-інтегральним (ПІ-регулятор) з постійною інтеграцією:

$$T_m = a_m \cdot k_{om} \cdot k_{mn} \cdot k_{яц} \cdot T_{\mu}. \quad (50)$$

Коефіцієнт пропорційної частини:

$$k_m = \frac{T_{яц}}{T_m}. \quad (51)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по струму впливає з виразу:

$$k_{om} = \frac{U_y}{I_{max}}, \quad (52)$$

де $I_{max} = 2 \cdot I_n$, А.

Налаштування контуру визначає його динамічні властивості, і вона визначається співвідношенням постійних часу контуру:

$$a_m = \frac{T_{OT}}{T_{\mu}}. \quad (53)$$

Зазвичай контур струму налаштовується на технічний (модульний) оптимум, значення коефіцієнта a_m дорівнює 2, при цьому є мінімальне перерегулювання близько 5% і забезпечується мінімальний час регулювання:

$$t = 4,7 \cdot T_{\mu}. \quad (54)$$

Якщо від приводу потрібна висока підтримка точності, то налаштування використовують на симетричний оптимум, при цьому бажана передатна функція (47) зміниться.

З урахуванням вищесказаного визначимо коефіцієнти регулятора струму:

$$W_{pm}(p) = \frac{(0,08p+1)}{2 \cdot \frac{10}{2 \cdot 220} \cdot 30,5 \cdot \frac{1}{0,16} \cdot 0,0372p} = 0,25 + \frac{1}{0,32p}.$$

4.1.2. Синтез регулятора швидкості

Для забезпечення виконавчого механізму необхідної швидкістю застосовують два способи: механічний та електричний. Перший спосіб включає введення в кінематичну ланцюг приводу пристроїв, які дозволяють плавно або ступінчасто змінити передавальне число системи. Як приклад таких пристроїв можна виділити: коробки, механічні варіатори та інші пристрої. Всі вони ускладнюють механічну частину приводу, що впливає на надійність і на автоматизацію технологічного процесу.

Другий спосіб є більш простим і таких недоліків, як у механічного способу, не має. Тому цей спосіб викликає найбільший інтерес.

Контур регулювання швидкості обертання двигуна включає оптимізований контур струму (ОКТ), регулятор швидкості (РС), механічну частину електроприводу (МЧ), що включає першу розподілену масу і конструктивну складову двигуна, і датчик швидкості (ДС) (рисунок 33).

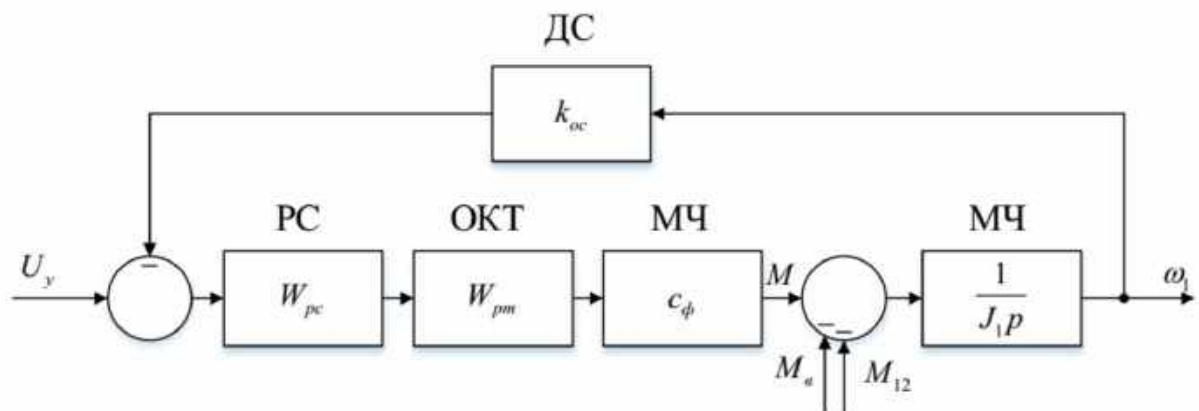


Рисунок 33 – Структурна схема замкнутого контуру швидкості двигуна постійного струму

У схему входить оптимізований контур струму, при цьому він є згорнутим і має спрощену функцію передавання:

$$W_{pm}(p) = \frac{1/k_{om}}{a_m \cdot T_\mu p + 1}. \quad (55)$$

Передатна функція об'єкта регулювання:

$$W_{op}(p) = \frac{1/k_{om}}{a_m \cdot T_\mu p + 1} \cdot \frac{c_\phi}{J_1 p}. \quad (56)$$

Це співвідношення показує, що не компенсована постійна часу T_μ для контуру швидкості, в a_τ разів більше, ніж для контуру регулювання струму. Для контуру положення некомпенсована постійна буде в 2 разів більше, ніж контуру регулювання швидкості.

Бажана передатна функція для розімкнутого контуру регулювання швидкості:

$$W_{\text{ж.раз}}(p) = \frac{1/k_{oc}}{a_c \cdot a_m \cdot T_\mu p \cdot (a_m \cdot T_\mu p + 1)}. \quad (57)$$

Поділивши передавальну функцію (57) на ПФ (56), виходить передатна функція регулятора швидкості:

$$W_{pc}(p) = \frac{W_{\text{ж.раз}}(p)}{W_{op}(p)} = \frac{J_1 \cdot k_{om}}{a_c \cdot a_m \cdot k_{oc} \cdot c_\phi \cdot T_\mu} = k_{pc}. \quad (58)$$

Отже, потрібно П-регулятор швидкості, коефіцієнт якого визначається значенням k_{pc} .

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю виходить з виразу:

$$k_{oc} = \frac{U_y}{\omega_{\max}}, \quad (59)$$

де $\omega_{\max}$ - максимальна кутова швидкість, рад/с.

Підставимо значення змінних з таблиці 1 та визначимо значення коефіцієнтів регулятора швидкості

$$W_{pc}(p) = \frac{5,07 \cdot \frac{10}{2 \cdot 220}}{2 \cdot 2 \cdot \frac{10}{128,1} \cdot 4,67 \cdot 0,0372} \approx 2,13.$$

4.1.3. Синтез регулятора положення

Ще однією регульованою величиною електроприводу є позиція робочого органу. Машини, у яких основне завдання полягає у підтримці заданої позиції робочого органу, називаються позиційними. До таких позиційних машин можна віднести екскаватори, металорізальні та деревообробні верстати, маніпулятори, підйомно-транспортні машини та інші машини з таким же принципом управління.

Переміщення в просторі робочих органів таких машин зазвичай досягається за рахунок роботи декількох взаємодіючих механізмів (індивідуальних приводів), які забезпечують переміщення по окремих координатах.

Регулювання положення робочого інструменту бурильної колони здійснюватиметься за відхиленням. Оптимізація контуру положення здійснюватиметься, як і раніше. Контур положення включає: оптимізований контур струму (ОКТ), швидкості (ОКС), блок інтегрування швидкості (БІ), датчик зворотного зв'язку за положенням з коефіцієнтом (ДП) і сам регулятор положення (РП) (рисунок 34).

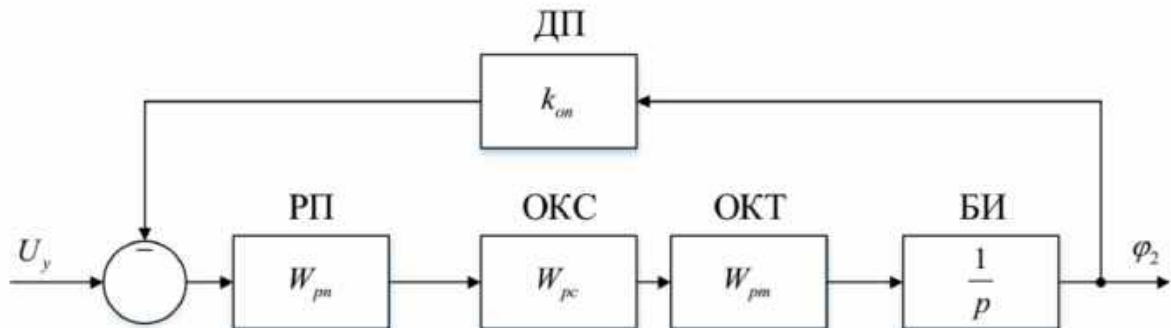


Рисунок 34 – Структурна схема контуру положення ДПТ-НВ

Бажана передатна функція для розімкнутого контуру регулювання положення:

$$W_{ж\,раз}(p) = \frac{1/k_{он}}{a_n \cdot a_c \cdot a_m \cdot T_\mu p \cdot (a_c \cdot a_m \cdot T_\mu p + 1)} \quad (60)$$

Передатна функція об'єкта регулювання:

$$W_{ор}(p) = \frac{1/k_{ос}}{a_c \cdot a_m \cdot T_\mu p + 1} \cdot \frac{1}{p} \quad (61)$$

Поділивши передавальну функцію (60) на ПФ (61), вийде передатна функція регулятора положення:

$$W_{pn}(p) = \frac{W_{ж\,раз}(p)}{W_{ор}(p)} = \frac{k_{ос}}{a_c \cdot a_m \cdot k_{он} \cdot a_n \cdot T_\mu} = k_{pn} \quad (62)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку координати переміщення знаходиться за допомогою наступного виразу:

$$k_{он} = \frac{U_y}{\varphi_{\max}} \quad (63)$$

Де $\varphi_{\max}$ - максимальний кут відхилення, радіан.

Підставивши раніше розраховані величини в передавальну функцію регулятора положення, отримаємо коефіцієнт регулятора:

$$W_{pn}(p) = \frac{\frac{10}{128,1}}{2 \cdot 2 \cdot \frac{10}{6,28} \cdot 2 \cdot 0,0372} = 0,16.$$

З урахуванням сказаного модель системи управління положенням робочого інструменту бурильної колони з двигуном постійного струму набуде вигляду, показаного на рис 35.

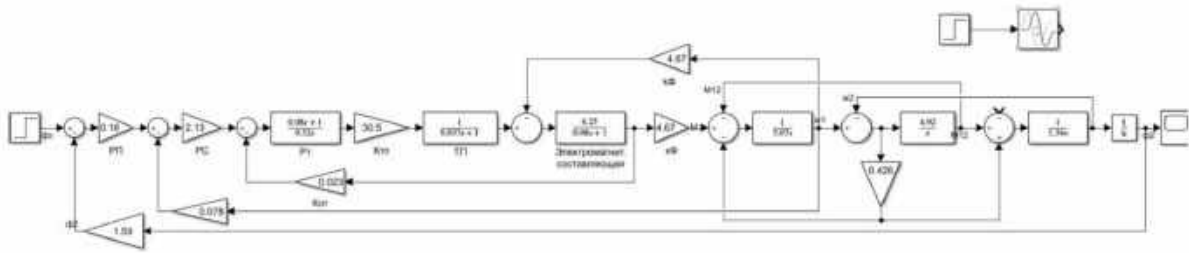


Рисунок 35 – Модель системи керування положенням бурильної колони з двигуном постійного струму

Перехідний процес керування положенням робочого інструменту бурильної колони з двигуном постійного струму без урахування впливу вибійного двигуна зображений на рис 36.

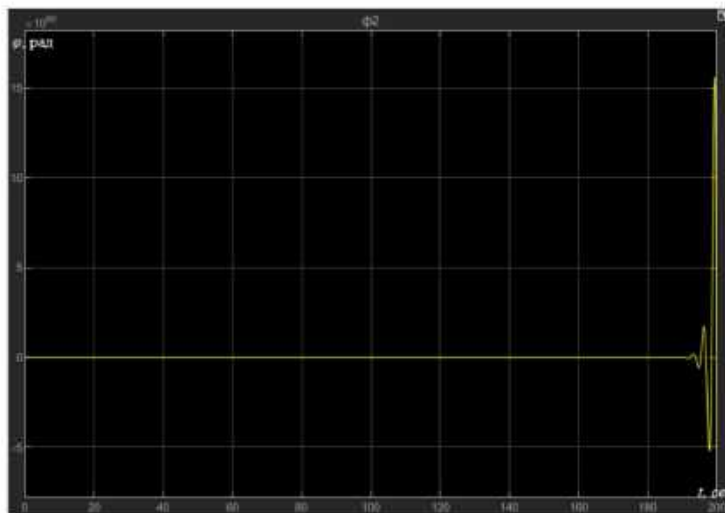


Рисунок 36 – Перехідний процес системи управління положенням робочого органу бурильної колони з двигуном постійного струму без урахування впливу вибійного двигуна

З рис 36 видно, що система не є стійкою. Це з тим, що у прямої ланцюга виявляється великий коефіцієнт передачі. Зменшимо коефіцієнт у зворотному ланцюгу контуру положення до значення 0,05 для того, щоб система стала стійкою, і подамо сигнал завдання рівний 40 радіан без урахування впливу вибійного двигуна (рисунок 37).

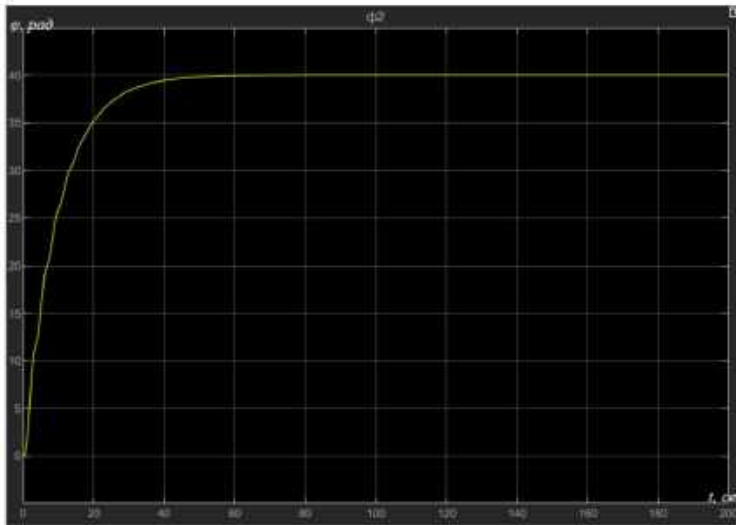


Рисунок 37 – Перехідний процес системи управління положенням робочого органу бурильної колони з двигуном постійного струму із зменшеним коефіцієнтом передачі без урахування впливу вибійного двигуна

В отриманому перехідному процесі відсутні коливання, час досягнення заданого значення становить 40 секунд. Однак у системі цьому етапі не враховано затримка інклінометра.

4.2. Синтез підлеглого регулювання системи керування положенням робочого інструменту бурильної колони з асинхронним двигуном

Застосування електромашинного перетворювача для системи з асинхронним двигуном економічно не вигідно: перетворювач у такому разі матиме великі габарити, велику масу, високу вартість та низький ККД. Схема безпосереднього регулювання швидкості ТП-Д проста в реалізації і має менші економічні витрати, проте її використання можливе, коли використовується двигун постійного струму. Як регулятор потоку електричної енергії був обраний перетворювач частоти, так як даний перетворювач найкраще підходить до асинхронного двигуна, що використовується в моделі. Тому необхідно навести його математичну модель, а також врахувати моделі асинхронного двигуна постійного струму з навантаженням у вигляді двомасової системою,

зображеної на рис 38.

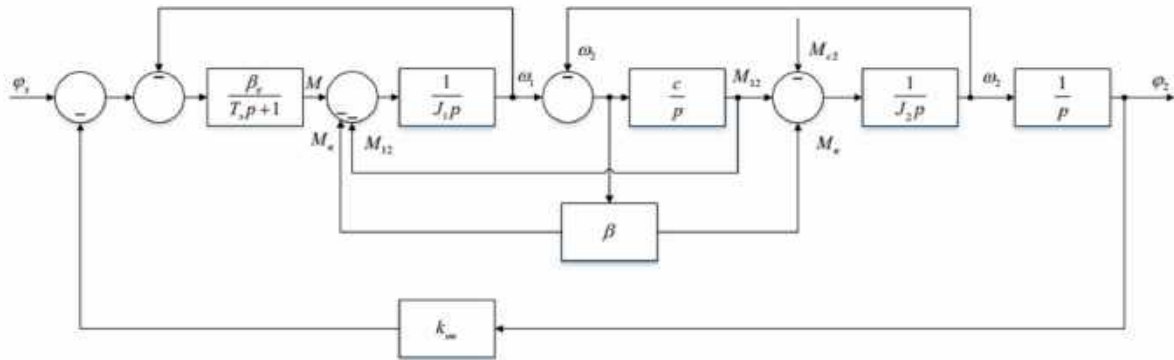


Рисунок 38 – Модель асинхронного двигуна із навантаженням у вигляді двомасової системи

З моделі, представленої на малюнку 38, виділимо для зручності контур, в якому присутній математичний опис асинхронного двигуна та навантаження у вигляді першої розподіленої маси – частина бурильної колони, яка бере початок у гирлі свердловини і закінчується в місці з'єднання з компонентом низу бурильної колони (рисунок 39). Також до цього контуру додамо математичну модель перетворювача частоти.

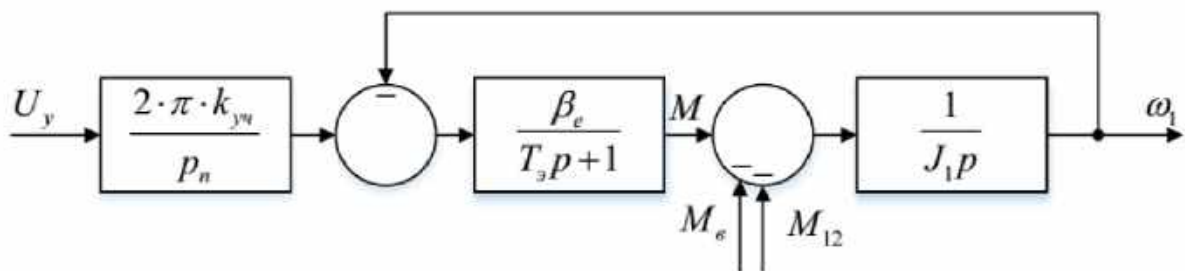


Рисунок 39 – Спрощена структурна схема управління АТ

Статичний коефіцієнт посилення перетворювача розраховується наступним чином:

$$k_{yч} = \frac{f_n}{U_y}, \quad (64)$$

де f_n - Частота напруги статора, Гц;

U_y - Уніфікований сигнал управління, Ст.

Підставивши дані з таблиці 3, визначимо коефіцієнт передачі перетворювача частоти:

$$k_{пч} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot \frac{60}{10}}{1} = 37,68.$$

4.2.1. Частотне регулювання моменту (струму)

На практиці даний спосіб регулювання струму є важко досяжним, тому що простих способів вимірювання електромагнітного моменту не існує.

4.2.2. Синтез регулятора швидкості

Контур регулювання швидкості обертання двигуна, на відміну від двигуна постійного струму, включає регулятор швидкості (РС), механічну частину електроприводу (МЧ), що включає першу розподілену масу і лінеаризовану модель асинхронного двигуна, датчик швидкості (ДС) і перетворювач частоти (ПЧ) .

Контур регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна зображено на рис. 40.

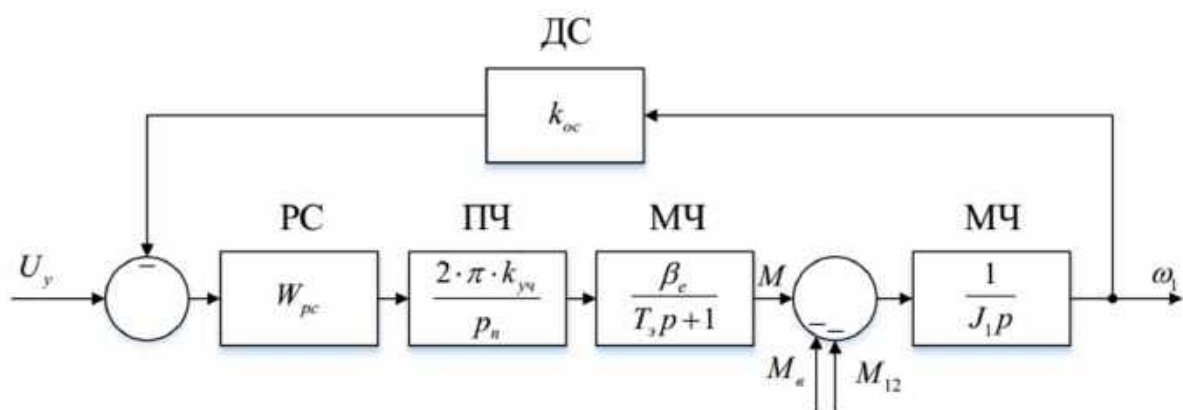


Рисунок 40 – Структурна схема замкнутого контуру швидкості асинхронного двигуна

Передатна функція розімкнутої системи регулювання при цьому:

$$W_{op}(p) = \frac{2 \cdot \pi \cdot k_{yc} \cdot \beta_e}{p_n \cdot J_1 p \cdot (T_2 p + 1)}. \quad (65)$$

Бажана передатна функція для розімкнутого контуру регулювання швидкості:

$$W_{ж\,раз}(p) = \frac{1/k_{oc}}{a_c \cdot T_\mu p \cdot (T_\mu p + 1)}. \quad (66)$$

Некомпенсована мала постійна T дорівнює постійної T_e .

Контур швидкості, як і двигуна постійного струму налаштовується на технічний оптимум.

Поділивши передавальну функцію (66) на ПФ (65), вийде передатна функція регулятора швидкості:

$$W_{pc}(p) = \frac{W_{ж\,раз}(p)}{W_{op}(p)} = \frac{J_1 \cdot p_n}{\beta_e \cdot a_c \cdot k_{oc} \cdot k_{yc} \cdot T_\mu \cdot 2 \cdot \pi} = k_{pc}. \quad (67)$$

Отже, потрібно П-регулятор швидкості, коефіцієнт якого визначається значенням k_{pc} .

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю виходить з виразу:

$$k_{oc} = \frac{U_y}{\omega_{max}}, \quad (68)$$

Де ω_{max} - максимальна кутова швидкість, рад/с.

Підставивши відомі величини, отримаємо значення регулятора швидкості:

$$W_{pc}(p) = \frac{5,07 \cdot 1}{240,69 \cdot 2 \cdot 0,027 \cdot 6 \cdot 0,06 \cdot 2 \cdot 3,14} \approx 0,17.$$

4.2.3. Синтез регулятора положення

Регулювання положенням робочого інструменту бурильної колони буде здійснюватися за відхиленням. Оптимізація контуру положення буде

здійснюватися, як і раніше, зворотний зв'язок за положенням з коефіцієнтом положення (РП) (рисунок 41).

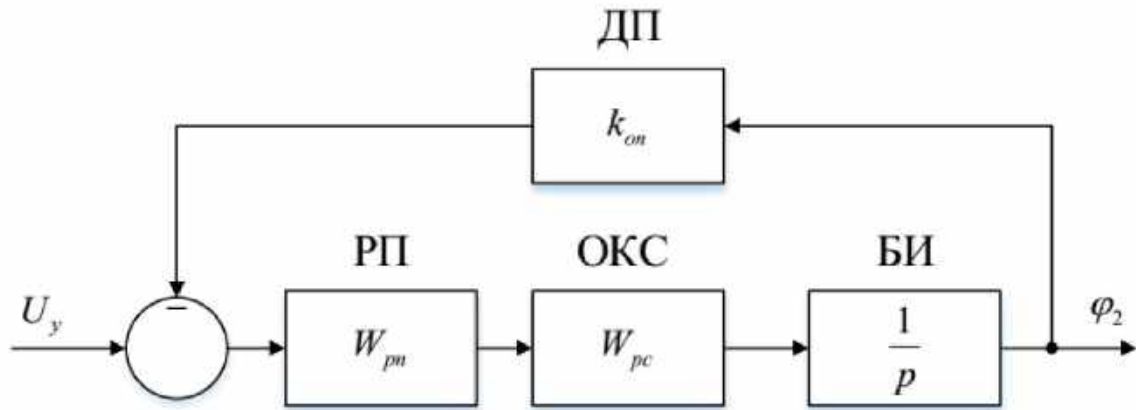


Рисунок 41 – Структурна схема контуру положення

Бажана передатна функція для розімкнутого контуру регулювання положення:

$$W_{\text{ж риз}}(p) = \frac{1/k_{on}}{a_n \cdot a_c \cdot T_\mu p \cdot (a_c \cdot T_\mu p + 1)} \quad (69)$$

Передатна функція об'єкта регулювання:

$$W_{op}(p) = \frac{1/k_{oc}}{a_c \cdot T_\mu p + 1} \cdot \frac{1}{p} \quad (70)$$

Поділивши передавальну функцію (69) на ПФ (70), вийде передатна функція регулятора положення:

$$W_{pn}(p) = \frac{W_{\text{ж риз}}(p)}{W_{op}(p)} = \frac{k_{oc}}{a_c \cdot a_n \cdot k_{on} \cdot T_\mu} = k_{pn} \quad (71)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку координати переміщення знаходиться за допомогою наступного виразу:

$$k_{on} = \frac{U_y}{\varphi_{\max}} \quad (72)$$

Де $\varphi_{\max}$ - максимальний кут відхилення, радіани.

Визначимо за розрахованими значеннями коефіцієнт регулятора положення:

$$W_{pn}(p) = \frac{W_{\text{ж.раз}}(p)}{W_{op}(p)} = \frac{0,027}{2 \cdot 2 \cdot 1,59 \cdot 0,06} = 0,071.$$

З урахуванням сказаного, модель системи управління положенням робочого органу бурильної колони з асинхронним двигуном набуде вигляду, показаного на рис 42. У цій моделі, як і в моделі з двигуном постійного струму зменшено коефіцієнт передачі.

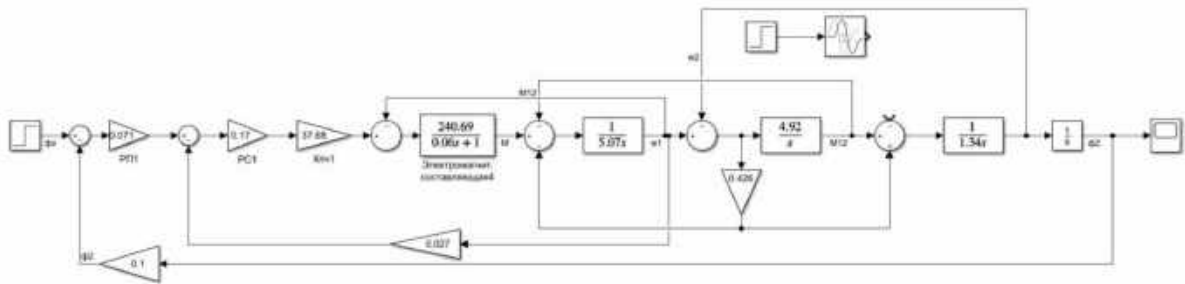


Рисунок 42 – Модель системи керування положенням робочого органу бурильної колони з асинхронним двигуном

Перехідний процес системи управління положенням робочого органу бурильної колони з асинхронним двигуном представлений на рис 43. Сигнал завдання становить 10 радіан, вплив забійного двигуна не враховується.

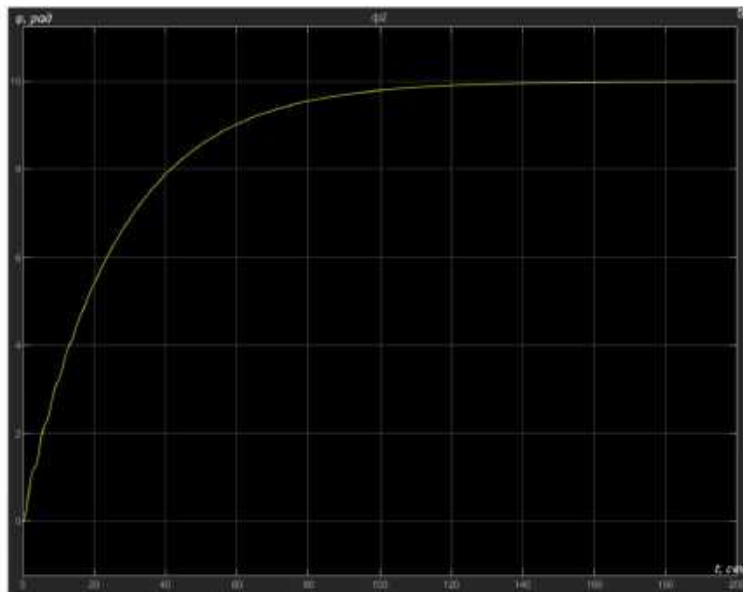


Рисунок 43 – Перехідний процес системи управління положенням робочого органу бурильної колони без урахування впливу вибійного двигуна

В отриманому перехідному процесі відсутні коливання, а час досягнення заданого значення складає близько 120 секунд.

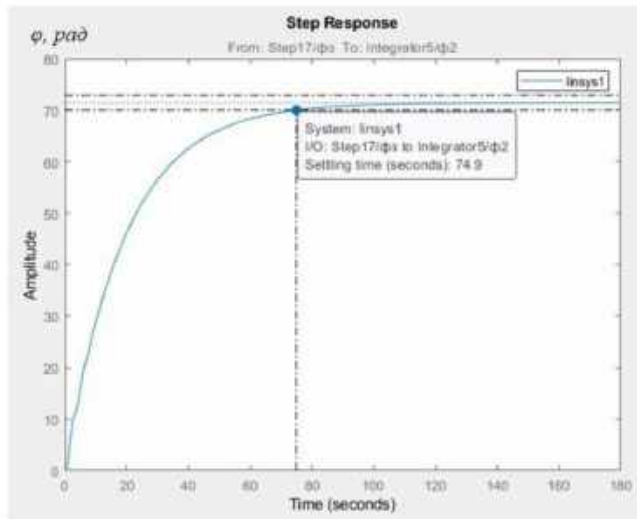


Рисунок 45 – Перехідний процес системи керування положенням робочого інструменту бурильної колони без урахування впливу реакції забійного двигуна

Однак у системі можуть з'явитися автоколивання і перерегулювання, що демонструє рис 46. Це пов'язано з тим, що при зміні коефіцієнта передачі системи ЛАХ переміщається по осі абсцис, а ЛФГ системи залишається на колишній позиції. На рис 47 зображено перехідний процес системи управління положенням робочого інструменту бурильної колони зі збільшенням коефіцієнта передачі в 3 рази без урахування впливу вибійного двигуна.

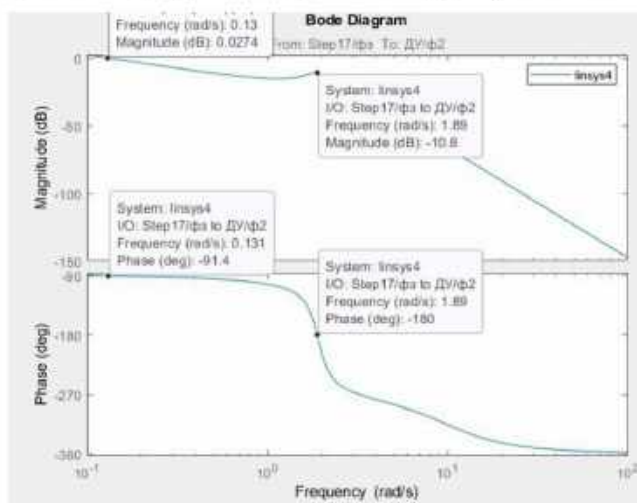


Рисунок 46 – ЛАЧХ системи керування положенням робочого інструменту бурильної колони

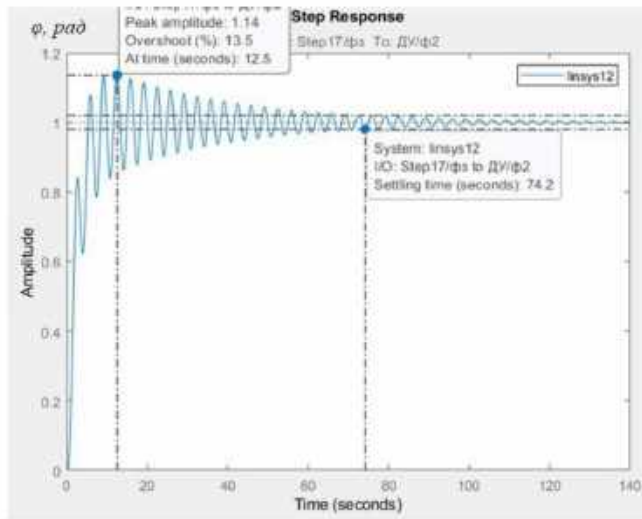


Рисунок 47 - Перехідний процес системи управління положенням робочого інструменту бурильної колони зі збільшенням коефіцієнта передачі у 3 рази без урахування впливу вибійного двигуна

У реальній системі, як згадувалося вище, інформація про поточний стан робочого інструменту передається з деяким запізненням. Розмір цього запізнення становить від 15 до 30 секунд. Воно впливає систему наступним чином: у системі з'являється зрушення по фазі, що призводить її до втрати стійкості. На рис 48 зображено перехідний процес системи керування положенням робочого інструменту бурильної колони із запізненням 30 секунд без урахування впливу вибійного двигуна.

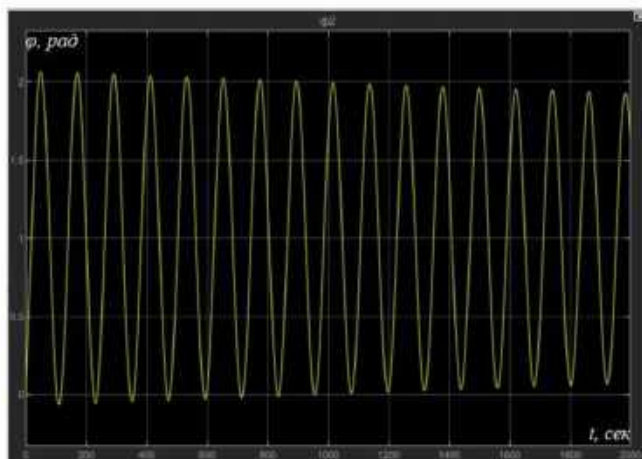


Рисунок 48 - Перехідний процес системи керування положенням робочого інструменту бурильної колони із запізненням 30 секунд без урахування впливу вибійного двигуна

З представленого рисунку видно, що управління становищем робочого інструменту втратила стійкої. Найпростіший спосіб повернути стійкість системи – зменшити коефіцієнт передачі. Зменшивши коефіцієнт передачі, час перехідного процесу також зменшиться. На рис 49 представлений перехідний процес системи управління положенням робочого інструменту зі зменшеним коефіцієнтом передачі у 2,5 рази без урахування впливу вибійного двигуна.

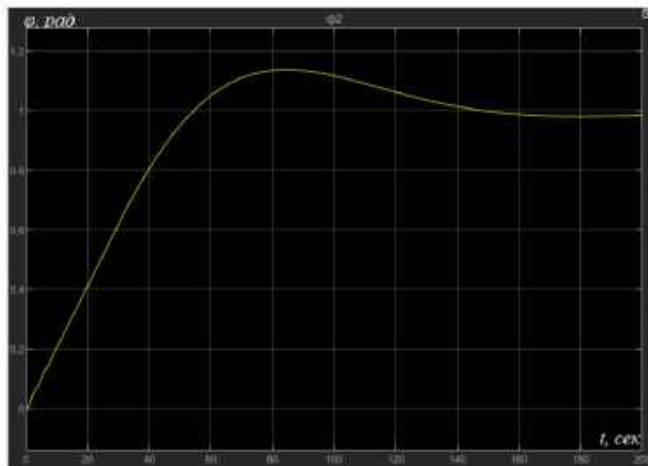


Рисунок 49 - Перехідний процес системи керування положенням робочого інструменту бурильної колони зі зменшеним коефіцієнтом передачі у 2,5 рази без урахування впливу вибійного двигуна

Варто відзначити, що раніше представлені характеристики не враховували впливу забійного двигуна, що створює реактивний момент, який намагається розгорнути бурильну колону. З огляду на цей реактивний момент зі значенням 10 Нм було побудовано перехідний процес системи управління положенням робочого інструменту бурильної колони (рисунок 50). Щоб наблизити перехідний процес до реальних умов, для реактивного моменту було встановлено затримку 150 секунд.

Розділ 6. Ресурсоефективність та ресурсозбереження

В даний час перспективність наукового дослідження визначається не так масштабом відкриття, оцінити яке на перших етапах життєвого циклу високотехнологічного та ресурсоефективного продукту буває досить важко, скільки комерційною цінністю розробки. Оцінка комерційної цінності розробки є необхідною умовою для пошуку джерел фінансування для проведення наукового дослідження та комерціалізації його результатів. Це важливо для розробників, які повинні представляти стан і перспективи наукових досліджень, що проводяться.

Необхідно розуміти, що комерційна привабливість наукового дослідження визначається не тільки перевищенням технічних параметрів над попередніми розробками, а й тим, наскільки швидко розробник зуміє знайти відповіді на такі питання – чи буде затребуваний продукт ринком, яка буде його ціна, який бюджет наукового проекту, який термін знадобиться для виходу на ринок і т.д.

Таким чином, метою розділу «Фінансовий менеджмент, ресурсоефективність та ресурсозбереження» є комплексний опис та аналіз фінансово-економічних аспектів виконаної роботи. Необхідно оцінити повні фінансові витрати дослідження (проект), і навіть дати хоча б наближену економічну оцінку результатів її застосування. Це своє чергу дозволить з допомогою традиційних показників ефективності інвестицій оцінити економічну доцільність здійснення. Розділ має бути завершено комплексною оцінкою науково-технічного рівня ВКР на основі експертних даних.

6.1. Організація та планування робіт

При організації процесу реалізації конкретного проекту необхідно раціонально планувати зайнятість кожного з його учасників та термін проведення окремих робіт.

У цьому пункті необхідно скласти повний перелік робіт, що проводяться,

визначити їх виконавців і раціональну тривалість. Наочним результатом планування робіт буде мережевий або лінійний графік реалізації проекту. Оскільки кількість виконавців не перевищує двох, буде реалізований лінійний графік. Щоб збудувати його, потрібно звести в таблицю хронологічні впорядковані дані. У таблиці 4 представлений перелік робіт та тривалості їх виконання.

Таблиця 4 – Перелік робіт та тривалість їх виконання

Етапи роботи	Виконавці	Завантаження виконавців
Постановка цілей і завдань, отримання вихідних даних	НР	НР - 100%
Складання та затвердження ТЗ	НР, І	НР - 80% І – 20%
Підбір та вивчення матеріалів за тематикою	НР, І	НР – 30% І – 70%
Розробка календарного плану	НР, І	НР - 10% І – 90%
Підбір списку література з тематики	НР, І	НР - 10% І – 90%
Обговорення списку літератури	НР, І	НР – 50% І – 50%
Розробка функціональної схеми САУ	НР, І	НР - 15% І – 85%
Створення мат. моделі САУ	І	І – 100%
Дослідження комп'ютерної моделі	І	І – 100%
Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	І	І – 100%
Оформлення графічного матеріалу	І	І – 100%
Підбиття підсумків	НР, І	НР - 10% І – 90%

6.1.1. Тривалість етапів робіт

Розрахунок тривалості етапів роботи може бути здійснений за допомогою двох методів:

техніко-економічним;

дослідно-статистичним.

Перший застосовується у випадках, коли є досить розвинена нормативна база трудомісткості процесів, що у свою чергу обумовлено їхньою високою повторюваністю у стійкій обстановці. Так як виконавець роботи часто не має відповідних нормативів, то використовують дослідно-статистичний метод, який реалізується двома способами:

аналоговий;

експертний.

Аналоговий спосіб є простим і має нульові витрати. Застосуємо у разі, як у виконавця НДР перебуває у зору не застарілий аналог, тобто. проект в цілому або частина його фрагмента, який за всіма значимими параметрами ідентичний виконуваній НДР. Найчастіше він може застосовуватися лише локально – окремих елементів (етапів роботи).

Експертний спосіб використовується за відсутності вищевказаних інформаційних ресурсів і передбачає генерацію необхідних кількісних оцінок фахівцями конкретної предметної галузі, що спираються на їхній професійний досвід та ерудицію. Для визначення ймовірних (очікуваних) значень тривалості робіт тжж застосовується нижченаведена формула:

$$t_{оже} = \frac{t_{\min} + 4 \cdot t_{\text{prob}} + t_{\max}}{6}, \quad (73)$$

де $t_{\min}$ - Мінімальна тривалість роботи, дн.;

t_{prob} - Найімовірніша тривалість роботи, дн.;

$t_{\max}$ - Максимальна тривалість роботи, дн.

Наведена формула дає надійніші оцінки, проте передбачається велике «навантаження» на експертів.

Для виконання перелічених у таблиці 4 робіт потрібні фахівці:

інженер – у ролі діє виконавець НДР (ВКР);

науковий керівник.

Для побудови лінійного графіка необхідно розрахувати тривалість етапів

у робочих днях, та був перевести їх у календарні дні. Розрахунок тривалості виконання кожного етапу у робочих днях ведеться за такою формулою:

$$T_{p\partial} = \frac{t_{o\partial c}}{K_{BH}} \cdot K_{\partial}, \quad (74)$$

де $t_{o\partial c}$ - тривалість роботи, дн.;

K_{BH} - Коефіцієнт виконання робіт, що враховує вплив зовнішніх факторів на дотримання попередньо визначених тривалостей, зокрема, можна прийняти даний коефіцієнт 1;

K_{∂} - Коефіцієнт, що враховує додатковий час на компенсацію непередбачених затримок і узгодження робіт (зазвичай коефіцієнт лежить в межах (1 - 1,2) і виконавець сам вибирає його значення).

Розрахунок тривалості етапу у календарних днях ведеться за формулою:

$$T_{KD} = T_{p\partial} \cdot T_{\kappa}, \quad (75)$$

де T_{KD} – тривалість виконання етапу у календарних днях;

T_{κ} -Коефіцієнт календарності, що дозволяє перейти від тривалості робіт у робочих днях до аналогів у календарних днях.

Розраховується він за такою формулою:

$$T_{\kappa} = \frac{T_{KAL}}{T_{KAL} - T_{BD} - T_{PD}}, \quad (76)$$

де T_{KAL} – кількість календарних днів на рік (366 днів);

T_{BD} – кількість вихідних днів на рік (108 днів); T_{PD} – кількість святкових днів на рік (10 днів). Підставивши зазначені значення у формулу (70):

$$T_{\kappa} = \frac{366}{366 - 108 - 10} = 1,48.$$

У таблиці 5 наведено розрахунок тривалості етапів робіт та його трудомісткість по виконавцям, зайнятим кожному етапі. У стовпцях (3 – 6) реалізовано експертний спосіб за формулою (73). Стовпці 7 та 8 містять величини трудомісткості етапу для кожного з двох учасників проекту (науковий

керівник та інженер) з урахуванням коефіцієнта K_d , що приймає значення 1,2. Кожна з них окремо неспроможна перевищувати відповідне значення твори тож і K_d . Стовпці 9 і 10 містять самі трудомісткості, виражені в календарних днях шляхом додаткового множення на T_k , що дорівнює 1,48. Підсумок по стовпцю 6 дає загальну очікувану тривалість роботи над проектом у робочих днях, підсумки по стовпцях

9 та 10 – загальні трудомісткості для кожного з учасників проекту. Дві останні величини далі будуть використані визначення витрат на оплату праці учасників та інші витрати. Величини трудомісткості етапів за виконавцями ТКД (дані стовпців 9 і 10 крім підсумків) дозволяють побудувати лінійний графік здійснення проекту.

Таблиця 5 – Трудовитрати виконання проекту

Етап Іс	наповнювачі	Тривалість робіт, дні				Трудомісткість робіт з виконавцям чол.- дн.			
						ТРД		ТКД	
		tmin	tmax	tprob	тож	НР	I	НР	I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Постановка цілей та завдань	НР	2	3	2	2,2	2,64	-	3,9	-
Розробка та затвердження технічного завдання (ТЗ)	НР, I	1	3	2	2	1,92	0,48	2,84	0,71
Підбір та вивчення матеріалів за тематикою	НР, I	5	14	10	9,8	3,53	8,23	5,2	12,18
Розробка календарного плану	НР, I	2	4	3	3	0,36	3,24	0,53	4,79
Підбір списку літератури	НР, I	1	3	2	2	0,24	2,16	0,35	3,19
Обговорення літератури	НР, I	3	6	4	4,2	2,52	2,52	3,73	3,73

Розробка функціональної схеми САУ	НР, I	7	12	9	9,2	1,66	9,38	2,46	13,88
Створення мат. моделі САУ	I	7	12	11	10,5	-	12,6	-	18,65
Дослідження комп'ютерної моделі	I	5	7	6	6	-	7,2	-	10,66
Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	I	5	7	7	6,67	-	8	-	11,8
Оформлення графічного матеріалу	I	5	8	6	6,2	-	7,44	-	11
Підбиття підсумків	НР, I	3	5	5	4,67	0,56	5,04	0,83	7,46
Разом:					66,44	13,43	66,29	19,84	98,05

6.1.2. Розрахунок кошторису витрат на виконання проекту

До складу витрат за створення проекту включається величина всіх витрат, необхідні реалізації комплексу робіт, складових зміст цієї розробки. Розрахунок кошторисної вартості її виконання провадиться за такими статтями витрат:

- матеріали та покупні вироби;
- заробітну плату;
- соціальний податок;
- витрати на електроенергію (без освітлення);
- амортизаційні відрахування;
- витрати на відрядження;
- оплата послуг зв'язку;
- орендна плата користування майном;
- інші послуги (сторонніх організацій);
- інші (накладні витрати); витрати.

6.1.3. Розрахунок витрат на матеріали

До цієї статті витрат відноситься вартість матеріалів, покупних виробів, напівфабрикатів та інших матеріальних цінностей, що витрачаються безпосередньо у процесі виконання робіт над об'єктом проектування. Сюди відносяться спеціальне придбане обладнання, інструменти та інші об'єкти, що відносяться до основних засобів, вартістю до 40 000 грн. включно. Ціна матеріальних ресурсів визначається за відповідними ціниками чи договорами поставки. Крім того, стаття включає так звані транспортно-заготівельні витрати, пов'язані з транспортуванням від постачальника до споживача, зберіганням та іншими процесами, що забезпечують рух матеріальних ресурсів від постачальника до споживача. Сюди ж включаються Витрати здійснення угоди купівлі-продажу (т.зв. транзакції). Наближено вони оцінюються у

відсотках до відпускній ціні матеріалів, що закуповуються, як правило вони складають від 5 до 20 %. Виконавець роботи самостійно вибирає їхню величину у зазначених межах. У таблиці 6 представлено розрахунок витрат за матеріали.

Таблиця 6 - Розрахунок витрат на матеріали

Найменування матеріалів	Ціна за од. грн.	Кількість	Сума, грн.
Папір для принтера формату А4	248,7	2 уп.	497,4
Ручка кулькова синя	5,5	2 шт.	11
Картридж для принтера	3850	1 шт.	3850
Разом:			4358,4

Підсумкова сума становить 4358,4 грн. З урахуванням ТЗР, що становлять 10% від відпускної ціни матеріалів, витрати матеріалів рівні:

$$C_{\text{мат}} = 4358,4 \cdot 1,1 = 4794,24 \text{ грн}$$

6.1.4. Розрахунок заробітної плати

Ця стаття витрат включає заробітну плату наукового керівника та інженера, в ролі останнього виступає виконавець проекту. Крім цього, до цієї статті включається премії, що входять до фонду заробітної плати. Розрахунок основної заробітної плати виконується на основі трудомісткості виконання кожного етапу та величини місячного окладу (МО) виконавця. Оклад інженера приймається рівним окладу відповідного спеціаліста нижчої кваліфікації в організації, де виконавець проходив переддипломну практику.

Середньоденна тарифна заробітна плата розраховується за такою формулою:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{20,7}, \quad (77)$$

де число, розташоване у знаменнику, середня кількість робочих днів на

місяці при п'ятиденному робочому тижні із загальною кількістю 248 робочих днів у поточному році. Для шестиденного робочого тижня кількість робочих днів цього року становить 300 днів, тоді середня кількість робочих днів – 25.

Витрати часу по кожному виконавцю в робочих днях із округленням до цілого взяті з таблиці 5. Для обліку у її складі премій, додаткової зарплати та районної надбавки використовуються наступні ряди коефіцієнтів: К_{пр} рівний 1,1; К_{доп} ЗП рівний 1,188; К_р, що приймає значення 1,3. Таким чином, для переходу від тарифної (базової) суми заробітку виконавця, пов'язаної з участю в проекті, до повного заробітку (зарплатної частини кошторису) необхідно першу помножити на інтегральний коефіцієнт. Коефіцієнт К_{доп} ЗП зі значенням 1,188 застосуємо при шестиденному робочому тижні, при п'ятиденному це значення дорівнює 1,113. Тоді інтегральний коефіцієнт К_і приймає значення шестиденного тижня значення 1,699, а п'ятиденної – 1,62. У таблиці 7 наведено витрати на зарплатню.

Таблиця 7 – Витрати зарплатню

Виконавець	Оклад, грн./міс.	Середньоденна ставка, грн./Раб.день	Витрати часу, роб.	Коефіцієнт	Фонд з/плати, грн.
НР	47104	1884,16	19,84	1,699	63511,57
I	15470	747,34	98,05	1,62	118708,7
Разом:					182220,27

6.1.5. Розрахунок витрат за соціальний податок

Витрати єдиний соціальний податок (ЄСП), куди входять у собі відрахування на пенсійний фонд, на соціальне і медичне страхування, становлять 30 % від повної зарплати. З урахуванням податку:

$$C_{\text{сн}} = 182220,27 \cdot 0,3 = 54666,08 \text{ грн}$$

6.1.6. Розрахунок витрат на електроенергію

Даний вид витрат включає витрати на електроенергію, витрачену в ході виконання проекту на роботу використовуваного обладнання, що розраховуються за формулою:

$$C_{\text{эл.об}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}}, \quad (78)$$

де $P_{\text{об}}$ - Потужність, що споживається обладнанням, кВт;

$t_{\text{об}}$ - Час роботи обладнання, година;

$Ц_{\text{э}}$ — тариф на 1 кВт год.

Час роботи устаткування обчислюється з урахуванням підсумкових даних таблиці 5 для інженера (ТРД) з розрахунку, що тривалість робочого дня дорівнює 8 часов:

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рл}} \cdot K_t, \quad (79)$$

де K_t менше або дорівнює 1 - коефіцієнт використання обладнання за часом, що дорівнює відношенню часу його роботи в процесі виконання проекту до ТРД, визначається виконавцем самостійно.

У ряді випадків можливе визначення $t_{\text{про}}$ шляхом прямого обліку, особливо при обмеженому використанні відповідного обладнання.

Потужність, що споживається обладнанням, визначається за такою формулою:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном}} \cdot K_c, \quad (80)$$

де $P_{\text{ном}}$ - Номінальна потужність обладнання, кВт;

K_c менше або дорівнює 1 - коефіцієнт завантаження, що залежить від середнього ступеня використання номінальної потужності.

Для технологічного обладнання малої потужності коефіцієнт можна прийняти 1.

У таблиці 8 представлений розрахунок витрат на електроенергію для технологічних цілей.

Таблиця 8 - Витрати на електроенергію технологічну

Найменування об- ладнання	Час роботи обладнання t _{об} , година	Споживана потужність P _{об} , кВт	Тариф Це на кВт/год	Витрати Сел. об, грн.
Персональний комп'ютер	530 * 0,8	0,6	6,59	1676,49
Струменевий принтер	2	0,1		1,32
Разом:				1677,81

6.1.7. Розрахунок амортизаційних витрат

У статті «Амортизаційні відрахування» розраховується амортизація устаткування, що використовується за час виконання проекту. Для розрахунку використовується формула:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot C_{OB} \cdot t_{pf} \cdot n}{F_d}, \quad (81)$$

де H_A – річна норма амортизації одиниці устаткування;

C_{OB}- Балансова вартість одиниці обладнання з урахуванням ТЗР. При неможливості отримати відповідні дані з бухгалтерії вона може бути замінена чинною ціною, що міститься в ціниках, прейскурантах тощо;

t_{pf}- Фактичний час роботи обладнання в ході виконання проекту, враховується виконавцем проекту;

n- Число задіяних однотипних одиниць обладнання;

F_d- дійсний річний фонд часу роботи відповідного обладнання, що береться зі спеціальних довідників або фактичного режиму його використання

у поточному календарному році. При цьому другий варіант дозволяє отримати більш об'єктивну оцінку САМ.

З використанням кількох типів устаткування розрахунок за формулою робиться відповідне число разів, потім результати сумуються.

Відповідно до постанови уряду РФ «Про класифікацію основних засобів, включених до амортизаційних груп» значення N_A становить 0,5 для терміну амортизації комп'ютера рівне 2 рокам. Тоді амортизаційні відрахування для комп'ютера вартістю 30 000 рублів складуть:

$$C_{AM}(ПК) = \frac{0,5 \cdot 30000 \cdot 530 \cdot 0,8 \cdot 1}{248 \cdot 8} = 3205,65 \text{ грн}$$

Для принтера вартістю 10000 грн зі значенням N_A рівним 0,5 і значенням F_d рівним 500 амортизаційні відрахування становитимуть:

$$C_{AM}(\text{Принтер}) = \frac{0,5 \cdot 10000 \cdot 2 \cdot 1}{500} = 20 \text{ грн}$$

Тоді загальні амортизаційні відрахування становитимуть:

$$C_{AM} = C_{AM}(\text{Принтер}) + C_{AM}(ПК) = 3225,65 \text{ грн}$$

6.1.8. Розрахунки, що враховуються безпосередньо на основі платіжних (розрахункових) документів (крім добових)

Сюди відносяться:

витрати на відрядження, в тому числі витрати по оплаті добові, транспортні витрати, компенсація вартості житла;

орендна плата користування майном;

оплата послуг зв'язку;

послуги сторонніх організацій.

Для осіб, що беруть участь у проекті, відрядження не передбачені, тому витрати по даному пункту $C_{нр}$ становлять 0 грн.

6.1.9. Розрахунок інших витрат

У статті «Інші витрати» відображені витрати на виконання проекту, які не враховані у попередніх статтях, їх слід прийняти рівними 10% від суми всіх попередніх витрат, тобто:

$$C_{\text{проч}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зн}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{зел.об}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{пр}}) \cdot 0,1. \quad (82)$$

З урахуванням вищевикладеного інші витрати становитимуть:

$$C_{\text{проч}} = (4794,24 + 182220,27 + 54666,08 + 1677,81 + 3225,65) \cdot 0,1 = 24658,41 \text{ грн}$$

6.2. Розрахунок загальної собівартості розробки

Провівши розрахунок за всіма статтями кошторису витрат за розробку, можна визначити загальну собівартість проекту (табл. 9).

Таблиця 9 – Кошторис витрат за розробку проекту

Стаття витрат	Умовне позначення	Сума, грн.
Матеріали та покупні вироби	Смат	4794,24
Основна заробітна плата	Сзп	182220,27
Відрахування до соціальних фондів	Ссоц	54666,08
Витрати електроенергію	Зел.об	1677,81
Амортизаційні відрахування	Сам	3225,65
Безпосередньо враховані витрати	Спр	0
Інші витрати	Сін	24658,41
Разом:		271242,45

Таким чином, витрати на розробку склали $C = 271\,242,45$ грн.

6.3 Розрахунок прибутку

Прибуток від проекту в залежності від конкретної ситуації (масштаб і характер одержуваного результату, ступінь його визначеності та комерціалізації, специфіка цільового сегменту ринку тощо) може визначатися різними способами. Якщо виконавець роботи не має у своєму розпорядженні даних для застосування «складних» методів, то прибуток слід прийняти у розмірі від 5 до 20 % від повної собівартості проекту. У разі вона становить 54248,49 крб. (20%) від витрат на розробку проекту.

6.4. Розрахунок ПДВ

ПДВ становить 20 % від суми витрат за розробку та прибутку, тобто.

$$\text{ПДВ} = (271242,45 + 54248,49) \cdot 0,2 = 65098,19 \text{ грн}$$

6.5. Ціна розробки НДР

Ціна дорівнює повній сумі повної собівартості, прибутку та ПДВ.

$$C_{\text{ндр(кр)}} = 271242,45 + 54248,49 + 65098,19 = 390589,12 \text{ грн}$$

6.6. Оцінка економічної ефективності проекту

Основна мета ВКР - розробка системи управління, яка здатна підтримувати задане положення робочого органу бурильної колони при похило-спрямованому бурінні глибоких свердловин. економічний ефект.

При використанні системи керування положенням робочого інструменту бурильної колони витрати, пов'язані з бурінням похило-спрямованої свердловини, знизяться, як і загальний час буріння. У цьому буріння похило-спрямованої частини траєкторії займає 50% часу. Передбачається, що розробка дозволить скоротити тимчасові витрати на 10 % при похило-спрямованому бурінні, що загалом скоротить час буріння на 5 %.

Висновки

У процесі розробки системи управління траєкторії при похило-спрямованому бурінні здійснювався пошук інформації на цю тематику. З отриманої інформації було поставлено така гіпотеза – модель бурильної колони можна, як двомасову пружну систему. Аналіз цієї гіпотези показав, що: при бурінні глибоких свердловин необхідно враховувати дисипативні сили, які впливають на систему. Основним зовнішнім обуренням є реактивний момент – намагається розгорнути бурову колону.

Управління кутом положення бурильної колони здійснюється системою верхнього приводу. Бурильна колона є динамічним навантаженням приводу. Привід має асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором. В даний час керування приводом здійснюється перетворювачем частоти.

Застосування асинхронного двигуна з перетворювачем частоти системі недостатньо, так як динамічні характеристики є задовільними. Для поліпшення динамічних характеристик був проведено синтез системи. Час перехідного процесу скоротився у 3,72 рази.

Бо в реальній системі присутня затримка сигналу, то зворотний зв'язок системи було додано ланка запізнювання. Система у своїй втратила стійкість. Стійкість системи було відновлено завдяки зменшенню значення коефіцієнта передачі.

Дослідження на комп'ютерній моделі підтвердили працездатність отриманої системи керування.

Таким чином отримано ідеальну модель управління положенням робочого органу при похило-спрямованому бурінні. Надалі необхідно провести аналіз отриманої моделі на інших історичних даних, щоб оцінити її адекватність та точність.

Література

1. Бідюк П.І. Методи прогнозування/П. Бідюк, О. Меньяйленко, О.Половцев. – Т 2. – Луганськ : Альма-матер, 2008. – 305 с.
2. Sushabhan Choudhury. ZigBee and Bluetooth Network based Sensory Data Acquisition System [Електронний ресурс] / Sushabhan Choudhury, Piyush Kuchhal, Rajesh Singh. – doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.195 – P. 367-372.
3. Kyung Sup Kwak. An Overview of IEEE 802.15.6 Standard" [Electronic resource] / Kyung Sup Kwak, Sana Ullah, Niamat Ullah // 2010 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL 2010), 7-10 Nov., 2010. – Rome, Italy. – DOI: 10.1109/ISABEL.2010.5702867.
4. Sushabhan Choudhury. ZigBee and Bluetooth Network based Sensory Data Acquisition System [Електронний ресурс] / Sushabhan Choudhury, Piyush Kuchhal, Rajesh Singh. – doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.195 –P. 367-372.
5. IEEE 802.11 ad: directional 60 GHz communication for multi-Gigabit-per-second Wi-Fi / Nitsche, T., Cordeiro, C., Flores, A. B., Knightly, E. W., Perahia, E., & Widmer, J. C. // IEEE Communications Magazine. – 2014. – 52 (12). – Pp. 132-141.
6. IEEE 802.11 ad: A standard for TV white space spectrum sharing / Flores, A. B., Guerra, R. E., Knightly, E. W., Eccle-sine, P., & Pandey, S. // IEEE Communications Magazine. – 2013. – 51 (10). – Pp. 92-100.
7. Галай В.М. Теорія оптимальних систем автоматичного керування технологічними процесами: монографія/ В.М.Галай, К.Х.Зеленський, А.М. Сільвестров. – Полтава: ПНТУ, 2009. – 153 с.
8. Жлуктенко В. І. Економетрія/В. І. Жлуктенко, Н.К. Водзянова, С. С. Савіна, О. В. Колодінська (під ред. С. І. Наконечного). – Київ: Видавництво Європейського університету, 2005. – 550 с.
9. Зеленський К. Х. Комп'ютерні методи прикладної математики / К. Х. Зеленський, В. М. Ігнатенко, О. П. Коц. — Київ: Академперіодика, 2002. – 480 с.
10. Івахненко О. Г. Довгострокове прогнозування та керування скланими системами/О.Г. Івахненко. – Київ: Техніка, 1975. –250 с.
11. Нестеренко О.В., Ковтунець О.В., Фаловський О.О. Інтелектуальні системи і технології. Ввідний курс/ О.В.Нестеренко, О.В. Ковтунець, О.О. Фаловський. – Київ:Національна академія управління, 2017. – 90 с.
12. Островерхов М.Я. Методи дослідження електротехнічних

комплексів і систем/М.Я. Островерхов, А.М. Сільвестров, К.Х. Зеленський/К.: ТАЛКОМ, 2019. - 300 с.

13. Самсонов В. В., Тачиніна О.М. Методологія наукових досліджень та приклади її використання/Київ, НУХТ, 2022. – 385 с.

14. Сільвестров А. М. Багатократно адаптивні системи ідентифікації / А. М. Сільвестров, О. М. Паченко.– К. : Техніка, 1983. – 110 с.

15. Антонюк В. С. Методологія наукових досліджень: Навч. посіб./В.С.Антонюк, Л. Г. Полонський, В. І. Аверченков, Ю. А. Малахов. – Київ: НТУУ „КПІ”, 2015. – 274 с.

16. Бучма І.М. Мікропроцесорні пристрої Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2005. – 236 с.

17. Важинський С.Е., Щербак Т. І. Методика та організація наукових досліджень: Навч. посіб. /С. Е. Важинський, Т. І. Щербак. – Суми: СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. –260 с.

18. Нова енергетична стратегія України до 2035 року: «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=244996332>

19. Дубовський С.В. Техніко-економічні оцінки перспективних природоохоронних технологій теплової енергетики України / С.В. Дубовський, В.С. Коберник // Проблеми загальної енергетики. –2013. – № 2(33). –С. 49-56.

20. Залознова Ю.С. Економічні та соціальні проблеми розвитку промисловості: монографія / Ю.С. Залознова; НАН України, Інститут економіки промисловості. –Київ, 2017. –288 с.

21. Іщук С.І., Гладкий О.В. Техніко-економічні основи промислового виробництва: навч. посібник. – К.: Академія, 2011. – 296 с.

22. Артюх С.Ф. Автоматизовані системи керування технологічними процесами в енергетиці / С.Ф.Артюх, М.А.Дуель, І.Г.Шелепов. –Харків, "Знання", –2001 р., –416 с.

23. Дуель М.О. Автоматизовані системи управління технологічними процесами енергоблоків теплових електростанцій (розробка, дослідження, впровадження): автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.13.07 / М.О. Дуель. –Харків, 1998. –36 с.

24. Савицький В. Технічні засоби автоматизації. - Львівська політехніка, 2018, -292с.

25. Ельперін І.В. Автоматизація виробничих процесів. -Ліра-К, 2017, -378с.

26. Ладанюк А. П.- Сучасні технології конструювання систем

автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування). Ліра-К, 2016, -312с.

27. Автоматизація технологічних процесів. Синєглазов В.М., Сергєєв І. Ю. -Київ, 2015, -444с.

28. Автоматизація виробничих процесів. Підручник. Ельперін І.В., Пупена О.М., Сідлецький В.М. -Ліра К, 2017, -378с.

29. Основи автоматики та автоматизації, Пістун Є.П., Стасюк І.Д. - Львівська політехніка, 2018, -336с.

30. Теоретичні основи автоматики. Корчемний М.О., Клендій П.Б., Потапенко М.В. -Богдан НК, 2012, -304с.

31. Технології проектування комп'ютерних систем. Б.І. Масловський, В.І. Дрововозов, О.В. Коба. -Київ, 2015, -500с.

32. Обладнання автоматизованого виробництва Бочков В. М., Сілін Р. І., - Львівська політехніка. 2015, -404с.

33. Виконавчі пристрої систем автоматизації. Васильківський І. С., Фединець В. О., Юсик Я. П. - Львівська політехніка, 2020, -220с.

ВІДГУК**наукового керівника кваліфікаційної роботи****рівня вищої освіти “магістр”****виконаного на тему: Удосконалення системи керування бурильною установкою глибоких свердловин****студентом (кою) СИНЯВСЬКИЙ В'ячеслав Сергійович**

(прізвище, ім'я)

Студент Синявський В.С. виконав магістерську роботу на тему “Удосконалення системи керування бурильною установкою глибоких свердловин” повністю відповідно до завдання. Робота присвячена актуальному питанню дослідження та удосконалення системи керування бурильною установкою та дослідженню питання їх ефективності в різних режимах роботи. Студент Синявський В.С. працював над роботою систематично, докладно вивчав рекомендуєму літературу, і правильно застосовував отримані знання. Графічна частина роботи виконана відповідно до норм і вимогами. Всі елементи схем в записці і кресленнях відповідають вимогам ЕСКД до розмірів умовних графічних позначень в електричних системах.

Робота має практичну значимість та наукову цінність

У цілому робота виконана грамотно, акуратно, основні цілі роботи досягнуті, а поставлені завдання виконані. Робота заслуговує оцінки “відмінно”.

Керівник кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)


(підпис)

_Мезеря А.Ю.

(ім'я, прізвище)

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу

“__Магістр__” рівня вищої освіти

виконаний(у) на тему: **Удосконалення системи керування бурильною установкою глибоких свердловин**

студентом (кою) **СИНЯВСЬКИЙ В'ячеслав Сергійович** _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

Студент Синявський В.С. виконав магістерську роботу на тему “Удосконалення системи керування бурильною установкою глибоких свердловин” повністю відповідно до завдання.

В роботі проведено дослідження та удосконалення системи керування бурильною установкою глибоких свердловин. Визначені основні фактори, які впливають на поліпшення основних характеристик системи керування бурильною установкою. Визначені області застосування систем керування, а також критерії їх ефективного використання.

Робота присвячена актуальному питанню підвищення ефективності систем керування. Це питання має високу практичну значимість, тому що енергозбереження є на сьогодні основним напрямком розвитку енергетики України. Вирішення цього питання дозволяє не тільки заощаджувати кошти на додатковому виробництві електроенергії, но і поліпшити питання екології.

Робота має практичну значимість та наукову цінність.

Графічна частина роботи виконана відповідно до норм та вимог. Всі елементи схем в записці і кресленнях відповідають вимогам ЕСКД до розмірів умовних графічних позначень в електричних системах.

Робота виконана на актуальну тему і відбиває високу інженерну підготовку автора.

Па роботі є наступні зауваження:

Бажаю провести техніко-економічний аналіз систем керування при використанні елементів різних виробників

У цілому робота виконана акуратно, грамотно та заслуговує оцінки «відмінно».

Рецензент

__к.т.н., доцент__

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

__Буданов П.Ф. __

(ім'я, прізвище)