КРМ.ЕМ та М.841-03.15.11.22.1.1.13
Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра електромеханіки та мехатроніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на тему «**Дослідження та вдосконалення електроприводу стріли портального крану**»

Збувач Чумаченко Максим Володимирович
Студент групи АЕМм-20

Керівник : Штепа Євген Павлович , к.т.н., доцент

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 9.06. 2023 р., протокол №12.

Завідувач(ка) кафедри Осадчук П.І._____ _____

Одеса - 2023 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: *Автоматизації та робототехніки*

Кафедра: *Електромеханіки та мехатроніки*

Ступінь вищої освіти: *магістр*

Спеціальність: *141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка*

Освітня програма: *Електромеханічні системи з інтелектуальним керуванням*

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри ЕтаМ

д.т.н., доц. Осадчук П.І.

_____

« ____» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Здобувач СВО Магістр Чумаченко Максим Володимирович

1.Тема роботи: «**Дослідження та вдосконалення електроприводу стріли портального крану»**

Керівник роботи: Штепа Євген Павлович , к.т.н., доцент.
Затверджено наказом ОНТУ від від 15-11-22 р. наказ №841-03
2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 5.12.23
3. Вихідні дані роботи: Діапазон зміни вильоту стріли 24 м; висота підйому 25 м; вага вантажу49 кН; кут відхилення канатів від вертикалі 15^0;

середня швидкість зміни вильоту стріли 50 м/хв

4. Перелік питань, які потрібно розробити **:Розділ 1**. Аналіз літературних джерел; Розділ 2. Механізм зміни вильоту стріли: 2.1. Редуктор; 2.2. Вимоги, що пред'являються до електроприводу механізму вильоту стріли; Розділ 3. Вибір системи електроприводу:Розділ 4. Прицилова схема управління

Розділ 5. Дослідження електроприводу на електронній моделі.

5 Перелік демонстраційного матеріалу: слайди презентації Power Point.

6 Консультанти розділів проекту (роботи)

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

8 Дата видачі завдання: « __15_ » _____11_____ 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	**Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра**	Строк виконання етапів	Прим.
1	Розділ 1. Аналіз літературних джерел .	05.11.2023	
2	Розділ 2. Механізм зміни вильоту стріли	10.11.2023	
3	Розділ 3. Вибір системи електроприводу	15.11.2023	
	Розділ 4. Прицепова схема управління	25.11.2023	
	Розділ 5. Дослідження електроприводу на електронній моделі.	30.11.2023	
4	Перевірка роботи на доброчинність	5.12.2023	
5	Попередній перегляд кваліфікаційної роботи	10.12.2023	
6	Захист кваліфікаційної роботи магістра	15.12.2023	

Здобувач СВО _____ Чумаченко М.В.

Керівник_____ _____ Штепа Є.П.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач СВО _____ Чумаченко М.В.

РЕФЕРАТ

Чумаченко М.В.«Дослідження та вдосконалення електроприводу стріли портального крану» Кваліфіційну роботу магістра. – Одеса: ОНТУ, 2023. – 69 с. Бібліогр.: 9. Іл.: 18. Табл.: 14.

В кваліфіційній роботі магістра зроблено наліз літературних джерел; приведена загальна характеристика портального крана , приведені вимоги до електроприводу механізму вильоту стріли; обгрунтування вибору системи електроприводу; розраховано параметри вильоту стріли; розраховано навантаження викликаних відхиленням канатів від вертикалі; зроблено силовий аналіз стріловидної системи; розрахунок механізму зміни вильоту стріли; розрахованосумарні навантаження на стріловий пристрій;розрахунок навантажень; розрахунок потужності і вибір двигуна з; схема широтно-імпульсного регулятора опорів в колі ротора двигуна з фазним ротором; проведено дослідження системи управління електроприводом на електронній моделі.

Ключові слова: портальний кран; навантаження стріли; побужність двигна*;* двигун з фазним ротором; широтно-імпульсний регулятор опорів; електронна модель

ABSTRACT

Chumachenko M. V. "Research and improvement of the electric drive of the gantry crane boom" Master's qualification thesis. – Odesa: ONTU, 2023. – 69 p. Bibliography: 9. Illustration: 18. Table: 14.

n the master's thesis, an analysis of literary sources was made; the general characteristics of the gantry crane are given, the requirements for the electric drive of the boom departure mechanism are given; rationale for choosing an electric drive system; the boom flight parameters are calculated; the load caused by the deviation of the ropes from the vertical is calculated; a force analysis of the boom system was made; calculation of the mechanism for changing the boom departure; calculated total loads on the jib device; calculation of loads; power calculation and engine selection with; scheme of the pulse-width resistance regulator in the rotor circuit of the motor with a phase rotor; the study of the electric drive control system was carried out on an electronic model. Keywords: portal crane; boom load; engine speed; motor with a phase rotor; pulse width resistance regulator; electronic model

Зміст

Вступ……12
Розділ 1. Аналіз літературних джерел.....13
1.1. Існуючі констрції портальних кранів……...13
1.2.Загальна характеристика портального крана……...22
Розділ 2. Механізм зміни вильоту стріли.....27
2.1. Редуктор……..27
2.2. Вимоги, що пред'являються до електроприводу механізму вильоту стріли…….28
Розділ 3. Вибір системи електроприводу……..31
3.1. Обгрунтування вибору системи електроприводу……...……31
3.2.Розрахунок навантажень…….……39
3.3. Розрахунок параметрів вильоту стріли…….……41
3.4. Силовий аналіз стріловидної системи……..42
3.4.1. Визначення стрілового моменту…….……42
3.4.2. Розрахунок навантажень, викликаних відхиленням канатів від вертикалі…….44
3.4.3. Розрахунок вітрових навантажень на стріловий пристрій……..45
3.4.4. Сумарні навантаження на стріловий пристрій……47
3.4.5. Система урівноважуючого пристрою……48
4. Розрахунок механізму зміни вильоту стріли……...50
4.1. Побудова планів швидкостей……46
4.2. Момент статичних сил опору……51
4.3. Розрахунок зусилля в тяговій ланці механізму зміни вильоту…..53
4.4. Розрахунок потужності і вибір двигуна……53
Розділ 4. Прицинова схема управління…..……55
4.1. Принциповоїссхеми управління електроприводом…….55
Розділ 5. Дослідження електроприводом на електронній модел.……58

5.1. Схема заміщення системи електроприводу……..58
5.2. Розрахунок параметрів схеми заміщення……..59
5.3. Дослідження системи управління електроприводом на електронній моделі……61
Висновок……63
Список літературних джерел……63

ВСТУП

Підйомно-транспортна техніка являє собою широкий клас механізмів, використовуваних в промисловості, будівництві та сільському господарстві.

Підйомно-транспортні машини і установки у багатьох випадку представляють собою складні агрегати. Вони включають в себе кілька механізмів, роботу яких не завжди можна розглядати ізольовано один від одного, так як робота одного приводу веде до істотної зміни параметрів іншого. Управління такими об'єктами з досягненням найкращого результату можливо лише на основі застосування засобів автоматизації.

У даній роботі об'єктом управління є портальний кран. Особливістю цього механізму є його постійна робота в перехідних режимах, через що особливо важливим є забезпечення необхідних сприятливих динамічних характеристик.

Розгляду підлягає електропривод механізму вильоту стріли, на функціонування якого істотний вплив роблять різні значення вантажу, що призводять до зміни моменту інерції, статичних та динамічних навантажень на валу двигуна механізму вильоту стріли.

У приводі механізму вильоту стріли використовується асинхронний двигун з фазним ротором. Пропонується використовувати імпульсний параметричне регулювання кутової швидкості двигуна, що дозволить усунути явище розгойдування вантажу. У вихідній схемі це досягалося шляхом збільшення числа ступенів пускових опорів. Таким чином контактори прискорення усуваються, завдяки цьому підвищується надійність системи електропривод.

Мета цієї роботи: Модернізація електроприводу механізму вильоту стріли.

Об’єкт дослідження: Електропривод стріли портального крану

Предмет дослідження:Система управління електроприводом стріли портального крану

Актуальність теми: Заміна контакторної системи управління реостатами в роторному колі асинхронного двигуна с фазним ротором імпульсною.

Розділ 1. Аналіз літературних джерел

1.1. Існуючі констрції портальних кранів

Пристрій портального крана

Такий агрегат являє собою складний підйомно-транспортний механізм, здатний виробляти підйом і переміщення вантажів великої маси і габаритів. Пристрій портального крана включає наступні вузли і агрегати:

• опорно-поворотний пристрій;

• портал;

• кабіна управління;

• хобот;

• комплекс противаг (рухливий і нерухомий);

• механізми підйому та управління стрілою;

• ходова частина (приводні двигуни, колісна візок, гальмівна система);

• система управління і контролю;

• вантажозахватні пристрої.

Виліт стріли визначається застосованої кінематичною схемою. У сучасних пристроях застосовуватися у повному обсязі або частково врівноважені стріли. Вибір конкретної схеми залежить від переліку вирішуваних завдань.

Для переміщення портального крана по майданчику застосовуються різного типу кранові візки. Найчастіше рух здійснюється по укладених рейках.

портальні крани

Це вантажопідйомне обладнання з поворотною частиною, встановленої на пересувний металоконструкції, їздить по рейках і здатною пропускати під собою ЖД вагони та інший транспорт. Портальні крани знайшли широке застосування в галузі будівництва силових будівель, шлюзів, дамб, гідростанцій і інших важливих об'єктів. Вони активно використовуються в

суднових доках і на Прикордонний складах, при роботі з масовими, відповідальними штучними, сипучими вантажами.

Портальні крани та їх різновиди

Портальний кран являє собою вид кранового обладнання, яке розташовується на порталі. Такий кран пересувається по спеціальному рейковому оснащенню, розташовується яке на естакаді або на дорожньому покритті. В даний час великою популярністю користуються портальні крани RHC, завдяки високій якості і доступній ціні.

Все портальні крани можна розділити на наступні види:

- мостові;

- портові;

- крани на пневмоходу;крани на рейковому ходу; конвеєрні системи;докові; кран для баржі;балкові крани.

Мостові крани

Мостовий кран являє собою причальний перевантажувач, який характеризується прогонових будов мостового типу. Число консолей моста і конструкція будуть залежати від планування причалу і призначення крана. Сам кран складається з підвісного вантажного візка, металоконструкції, механізму пересування, автоматичного захоплення, кабелю підведення струму, кабельного барабана, відтяжок, захоплення для довгих предметів, грейфера і вертикальної стійки. несучі елементи

конструкції крана, як і візки, зроблені з низьколегованої сталі. Для опірності втомним явищ і підвищення технологічності кожна з рам порталу виготовлена з зварних балок коробчатого перетину. Також на крані присутні блокуючі пристрої, що забезпечують безпеку.

Портові крани

Вантажопідйомність таких пристроїв коливається в межах 1,5-20 тонн. Якщо вантажопідйомність більше 3 т, то вони оснащуються змінним обладнанням: гаками для штучних вантажів і грейферами для насипних вантажів. Залежно від обслуговуваних судів і ширини Прикордонний складів

у портових кранів максимальний виліт складає 15-40 м. Ширина колії порталу буде залежати від кількості залізничних колій, які перекриває портал.

Крани на рейковому ходу

Такий вид крана (RMG) являє собою контейнерний портальний кран. Кран переміщається по рейках, він оснащений спредером і може піднімати і штабелювати 20-40 контейнерів. RMG крани призначені для роботи з обробки контейнерів. Такі крани відрізняються тим, що мають електропривод, високу швидкість руху і велику вантажопідйомність. Вони дуже ефективні для перевантаження великої кількості контейнерів на рейки з дороги. Застосування таких пристроїв надає можливість більш раціонально використовувати всю площу терміналу.

Крани на пневмоходу

Такі пристрої служать для роботи на складах і відрізняються своєю продуктивністю. Вони комплектуються компонентами відповідно до потреб замовника. Основою надійності таких кранів є:

- повна відсутність гідравліки;
- використання електродвигунів змінного струму;
- електропривод з частотним регулюванням.

Перераховані вище складові сприяють скороченню робіт з технічного обслуговування.

Докові крани

Такі крани становлять особливу групу. Вони призначені для здійснення робіт всередині доків і встановлюються на бортах плавучих доків. Стійкість конструкції забезпечується противагами, а якщо є необхідність, то в опори порталу заливається бетон. Проектуються докові крани з урахуванням дифферента дока і крену.

Конвеєрні системи

Такі системи надають можливість транспортувати майже будь-які сипкі вантажі. Вони відрізняються підвищеною продуктивністю, а

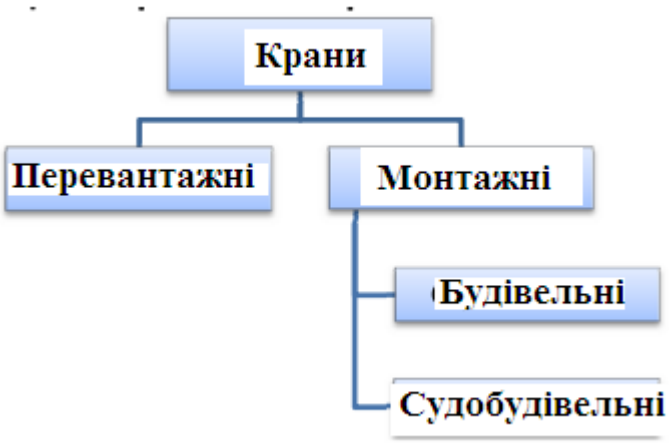
транспортування здійснюється при куті нахилу від 0 до 45 градусів, якщо працює один привід. Якщо працює 2 приводу, то кут необмежений.

Балкові крани

Такі конструкції являють собою кранове обладнання мостового типу, яке служить для виконання підйомно-транспортних і розвантажувально-навантажувальних робіт в промислових цехах, на кранових естакадах і складах виробничих підприємств. Така спецтехніка використовується в процесі розвантаження річкових і морських судів, будівництві промислових і цивільних споруд.

Кран для баржі

Така конструкція є судном технічного флоту, яке встановлюється на понтон. Вони бувають річковими, морськими, самохідними і несамохідними.



Виходячи з конструкції вантажопідйомного пристрою, їх поділяють на неповоротні і поворотні. На річках часто застосовуються гідравлічні крани-маніпулятори, які відмінно підходять для очищення водойм і річок в прибережній зоні, а також для різних робіт на прибережних об'єктах.

Рисунок 1.1 – Блок-схема класифікації портальних кранів.

Класифікація портальних кранів за їх призначенням. Портальні крани за функціональним призначенням поділяються на: перевантажувальні, монтажні, будівельні, суднобудівні приведена на рисунку 1.1.

Вантажопідйомність кранів, що використовуються в портах під час навантаження масових вантажів, коливається в межах від 1,5 до 20 тонн. При вантажопідйомності понад 3 т. вони зазвичай постачаються змінним обладнанням - грейферами для роботи з насипними вантажами та гаками для роботи з штучними вантажами. Для кранів вантажопідйомністю до 3 т, включно застосування грейферів дуже обмежене, в основному вони використовуються для постачання вугілля каботажних і річкових суден. Тому для спрощення підйомного механізму такі крани зазвичай виготовляються лише з гаками. Для спеціалізованих морських причалів за великої кількості насипних вантажів доцільно застосування грейферних кранів вантажопідйомністю до 25 т. Портові крани мають постійну вантажопідйомність на всіх вильотах. Залежно від ширини прикордонних складів і суден, що обслуговуються, портові крани мають максимальний виліт від 15 до 40 м (і 30 м зазвичай 25). Мінімальний виліт приймається з конструктивних міркувань. З метою обслуговування найбільшої площі з однієї установки крана слід прагнути мати цей виліт найменшим. Ширина колії порталу (відстань між осями підкранових рейок залежить від кількості залізничних колій, що перекриваються порталом. Зазвичай портали виконуються одноколійними, триколійними двоколійними У деяких випадках портали замінюються Г-подібними напівпорталами, в яких горизонтальна рама металоконструкції однією стороною спирається безпосередньо на ходові катки по підкранових рейках, покладених на несучих конструкціях будівель припортових складів, або на спеціальних естакадах рельсх.

Це дозволяє наблизити вісь обертання крана до судна, що розвантажується, не вдаючись до зведення дорогих масивних стінок набережних. При великих коливаннях рівня води під час паводків ходові візки, що йдуть нижньою рейкою, і частина металевої конструкції напівпорталу часто працюють під водою. Поворотна частина крана на одноколійному порталі встановлюється на середині його прольоту, на двоколійному вона іноді зміщується до одного з підкранових рейок залежно від умов роботи крана. Поворотна частина крана на триколійному порталі іноді виконується пересувною, що збільшує площу, що обслуговується, але ускладнює конструкцію крана. З огляду на високу вартість спорудження підкранових колій та набережних тиск на ходові колеса кранів

зазвичай обмежується 20-30 т. Залежно від цього тиску визначається кількість ходових коліс.

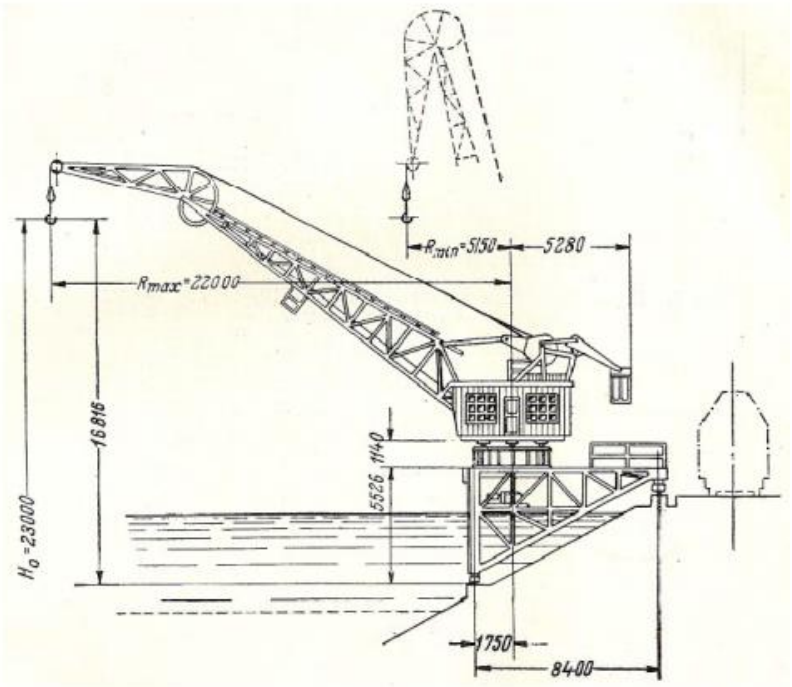


Рисунок 1.2 – Перевантажувальний портальний крана на напівпорталі спеціальної конструкції

Можливості застосування портальних кранів для виконання широкого спектру операцій: перевалки штучних вантажів за допомогою вантажного гака; роботи з важкими вантажами; обробки навантажувальних вантажів за допомогою грейфера; роботи з магнітом; перевантаження металобрухту за допомогою прямокутного грейфера; обробки контейнерів за допомогою спредера. Крани з бункером (крани типу «кенгуру») на порталі (Рисунок 1.2) застосовують для вивантаження сипучих вантажів із суден при стійкому вантажопотоку. Обертання виключене з робочого циклу крана, тим самим підвищується продуктивність. Рух грейфера з трюму до бункера і назад забезпечують лише механізми підйому та зміни вильоту. З грейфера вантаж висипається в бункер та доставляється на склад транспортерами, один або два з яких встановлені на крані. Розміри бункера в плані з урахуванням розгойдування грейфера на канатах значні. Для зменшення розгойдування довжина підвісу має бути можливо меншою. При пересуванні крана вздовж судна бункер не повинен виступати у бік берегової рейки за габарит порталу. У кранів бункер виконаний поворотним. При розвантаженні вантажу з судна бункер встановлюють горизонтально, а при переміщеннях крана вздовж пірсу вертикально; при цьому бункер не зачіпає надбудов судна.

Рисунок 1.3 – Стапельний кран.

Монтажні крани призначені для робіт із відповідальними штучними вантажами. Суднобудівні та судноремонтні крани зазвичай встановлюються на високих порталах для кращого обслуговування робіт з монтажу та ремонту суден. Портальні крани, що встановлюються на набережних судноверфей для добудови суден на плаву, називаються кранами. Вони застосовуються також при ремонті суден у ремонтних набережних та сухих доках. Портальні крани, що застосовуються для збирання суднових корпусів на стапелях, називаються стапельними кранами (Рисунок 1.3).

Сучасна технологія спорудження суден орабля великими вузлами, тому вантажопідйомність стапельних і добудовувальних кранів досягає 80 т, і більше. Висота підйому гака над головкою підкранових рейок монтажних кранів (Рисунок1.4) досягає 50 м. Зазвичай вони встановлюються на спеціальних високих порталах і, починаючи з вантажопідйомності 20 т., і більше, забезпечуються двома гаками - головним і допоміжним. Часто монтажні крани мають змінну вантажопідйомність, залежно від вильоту. Швидкості робочих рухів подібних кранів, на відміну перевантажувальних, изначаються невеликими. Для зручності установки обладнання, що монтується, механізм головного підйому, а іноді й інші механізми крана мають додаткову малу (посадкову) швидкість. Максимальні вильоти монтажних кранів іноді досягають 35-40 м-коду. Особливу групу складають докові крани, що встановлюються на бортах плавучих доків , які служать для виконання роботи всередині доків. Вони переміщаються вздовж стінки доку по коліях. Доковий кран зі стрілою ґратчастої конструкції має колію від 3.0 до 4.5 м. У зв'язку з цим доводитьс вживати спеціальних заходів для забезпечення стійкості кранів.

Рисунок 1.4 – Монтажний кран

Стійкість крана забезпечують противагами на поворотній частині і за необхідності заливкою бетону.

Крім протиугінних захватів докові крани забезпечують протиперекидальними захопленнями (кліщами-захопленнями), що охоплюють постійно головки підкранових рейок і що оберігають кран від можливого перекидання при перевантаженнях і утримують кран при бічний ураганний вітер. Підкранові рейки на доці

повинні бути при цьомна дійно закріплені для опору зусиллям, що відрвідривають.

Рисунок 1.5 – Доковий кран зі стрілою коробчастого типу

Іноді стріли докових кранів повинні укладатися в похідне становище на час транспортування у відкритому морі. Докові крани проектують з урахуванням крену та

диферента дока. 3.5 Будівельні портальні крани Будівельні крани використовуються для механізації будівельних робіт. Застосування портальних кранів на будівництві внаслідок їх високої вартості є доцільним лише при

перевантаженні великих кількостей матеріалів, коли кран працює тривалий час на одному місці.

В даний час портальні крани широко застосовуються на спорудах гребель, шлюзів і силових будівель великих гідростанцій (Рисунок1.6) для укладання бетону, що подається в цебрах по бетоновозної естакаді. Кран розвантажує цебра, що підвозяться естакадою під порталом крана, і подає їх в блоки, де цебра випорожнюються і назад вантажаться на транспортні засоби. За допомогою портальних кранів подають та встановлюють опалубку (у вигляді щитів), арматурні ферми,

плити, оболонки, встановлюють закладні частини затворів та турбін тощо. У кінці будівництва ці крани використовуються для монтажу основного обладнання. Будівельні портальні крани мають вантажопідйомність 10-20 т. Залежно від вильоту стріли вона може бути змінною. Величина максимального вильоту цих кранів залежить від ширини гребель і досягає 50 м, висота підйому гака над головою підкранових рейок, 36 м. Глибина опускання гака нижче за головку

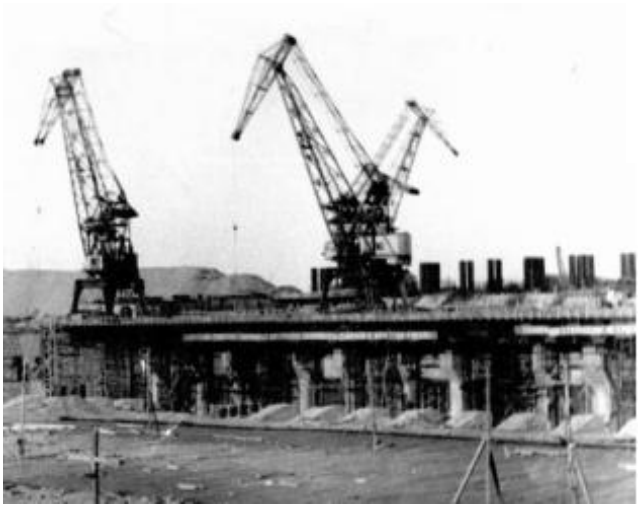


Рисунок 1.6 – Будівельні портальні крани на бетоновозній естакаді

гака підкранової рейки залежить від висоти естакади і досягає 70 м і більше. Для забезпечення високої продуктивності таких великих висот підйому будівельні крани мають такі ж високі швидкості підйому, як і перевантажувальні крани. Однак швидкості повороту та зміни Рисунок 3.12 – Будівельний портальний кран підвищеної вантажопідйомності в порту Балтимор США вильоту у будівельних кранів трохи менше, ніж у перевантажувальних, внаслідок необхідності

зменшення розгойдування вантажу, що висить зазвичай на довгих канатах. Будівельні крани робляться лише гаковими. Портали їх мають більшу висоту, оскільки під ними можуть перевозитися естакадою арматурні ферми та обичайки трубопроводів до турбін (Рисунок 1..7).

Рисунок 1..7 – Будівельний портальний кран підвищеної вантажопідйомності

1.2. Загальна характеристика портального крана

Портальний кран - складна підйомно-транспортна машина, складність конструкції якої визначається складністю технологічних операцій і підвищених вимог до точності виконання і роботи крана (Рисунок. 1.8) .

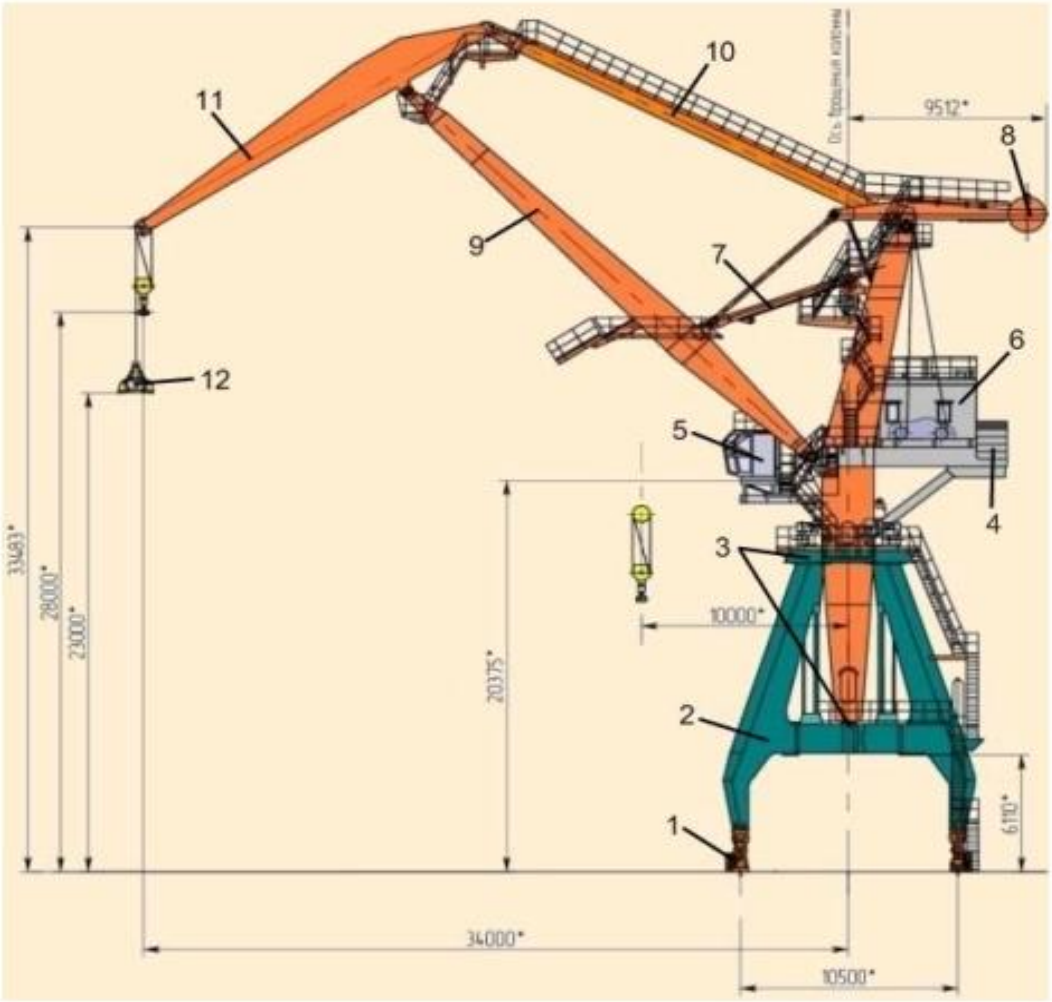


Рисунок. 1.8 - Кран портальний. Загальний вигляд:

1- ходовий візок; 2- портал;3- опорно поворотний пристрій;

4- нерухома противага;5- кабіна управління;6- кабіна для механізмів;7- механізм зміни вильоту;8- рухлива противага;9- стріла;10-жорстка відтяжка;11-хобот;12- змінне робоче обладнання.

Вантажопідйомність кранів, які використовуються в портах при навантаженні масових вантажів, коливається в межах від 1,5 до 20 тонн. При вантажопідйомності понад 3 т. вони зазвичай забезпечуються змінним устаткуванням - грейферами для роботи з насипними вантажами і гаками для роботи зі штучними вантажами. Для кранів вантажопідйомністю до 3 т., включно застосування грейферів вельми обмежена, в основному вони використовуються для постачання вугіллям каботажних і річкових суден. Тому для спрощення підйомного механізму такі крани зазвичай виготовляються тільки з гаками. Для спеціалізованих морських причалів при

великих кількостях насипних вантажів доцільно застосування грейферних кранів вантажопідйомністю до25 т.

Портові крани зазвичай мають постійну вантажопідйомність на всіх вильотах. Залежно від ширини прикордонних складів і судів що обслуговуються портові крани мають максиРисунокьний виліт від 15 до 40 м (і 30 м зазвичай 25). МініРисунокьний виліт приймається з конструктивних міркувань. З метою обслуговування найбільшої площі з однієї установки крана слід прагнути мати цей виліт найменшим. Ширина колії порталу (відстань між осями підкранових рейок залежить від кількості залізничних колій, що перекриваються порталом. Зазвичай портали виконуються однопутними, трехпутними двоколійними і у деяких випадках портали замінюються Г-подібними полупорталами, в яких горизонтальна рама металоконструкції однією стороною спирається безпосередньо на ходові візки, що катаються по підкранових рейках, укладених на несучих конструкціях будівель прикордонних складів або на спеціальних естакадах. У річкових портах, що мають укісні набережні, іноді застосовуються напівпортали спеціальної конструкції, які переміщаються по рейках, укладених на різних рівнях. Це дозволяє наблизити вісь обертання крану до розвантажуваного судна, не прибігаючи до зведення дорогих масивних стінок набережних. При великих коливаннях рівня води в річці під час паводків ходові візки, що йдуть по нижній рейці, і частина металевої конструкції напівпорталу часто працюють під водою.

Поворотна частина крану на однопутному порталі встановлюється на середині його прольоту, на двоколійному вона іноді зміщується до однієї з підкранових рейок залежно від умов роботи крану. Поворотна частина крану на триколійному порталі іноді виконується пересувною, що збільшує обслуговувану площу, але ускладнює конструкцію крану.

Зважаючи на високу вартість спорудження підкранових шляхів і набережних тиск на ходові колеса кранів обмежується 20-30 т. Залежно від

цього визначається число ходових коліс. Можливості застосування портальних кранів для виконання широкого спектру операцій:
перевалки штучних вантажів; роботи з важкими вантажами; обробки за допо могою грейфера;роботи з магнітом; перевантаження металобрухту за допомогою прямокутного грейфера;обробки контейнерів за допомогою спредера.

Крани з бункером (крани типу " кенгуру") на порталі (Рисунок. 5) застосовують для вивантаження сипких вантажів з судів при стійкому вантажопотоці.

Обертання виключене з робочого циклу крану, тим самим підвищується продуктивність. Рух грейфера з трюму до бункера і назад забезпечують тільки механізми підйому і зміни вильоту.

Механізми зміни вильотустріли портальних кранів (Рисунок. 1.2) повинні мати жорсткий кінематичний зв'язок із стрілою, щоб виключити мимовільні рухи останньої під дією горизонтальних сил (вітру, сил інерції, відхилення вантажних канатів від вертикалі і т. п.).

Основними типами механізмів зміни вильоту є: рейковий (Рисунок. 1.2, а) із зубчастою або цівковою рейками; гвинтовий з гайкою (Рисунок. 1.9, б), що обертається, або з гвинтом, що обертається, гідравлічний (Рисунок. 1.2, в), секторний (Рисунок. 1.9, г); секторно-кривошипний (Рисунок. 1.9, д) і кривошипно-шатуновий, у якого шатун з'єднується безпосередньо із стрілою або з коромислом (Рисунок. 1.9, е).

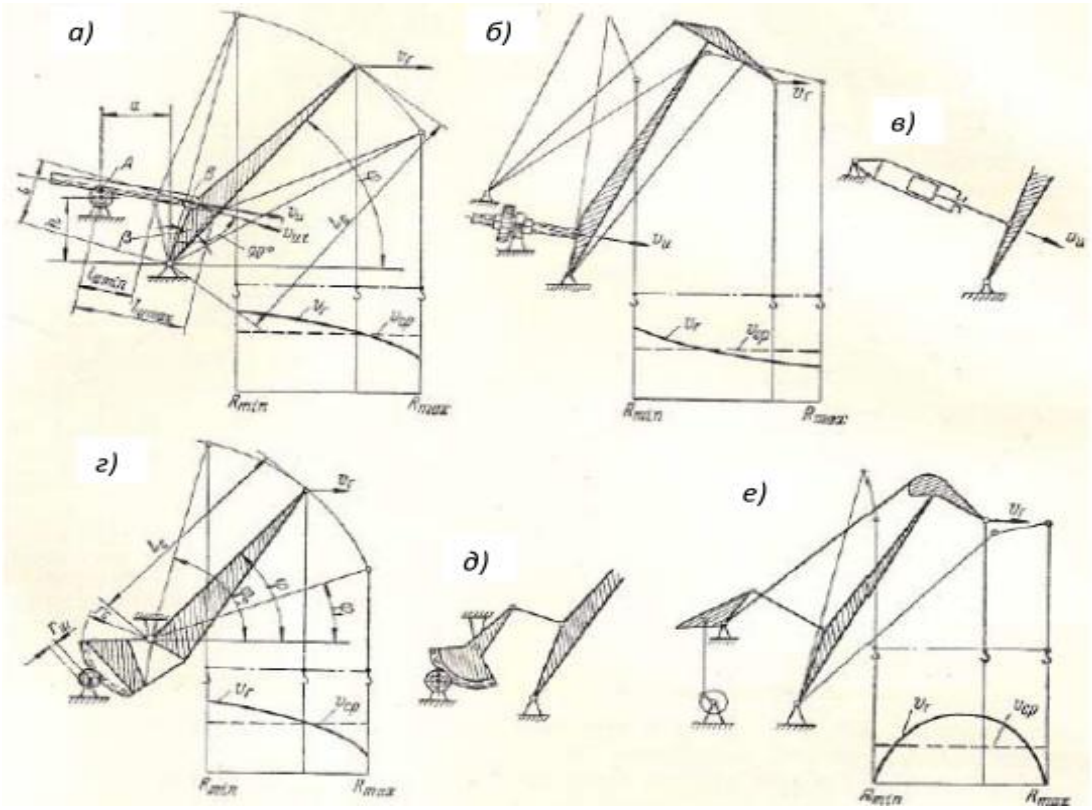


Рисунок. 1.9 -Основні типи механізмів зміни вильоту : а- рейковий; б - гвинтовий; у - гідравлічний; д - секторно-кривошипний; е - кривошипно-шатуновий.

З приведених типів рейковий механізм найлегший по вазі і простіший у виготовленні і знаходить все більше застосування у краностроительных фірм.

Гвинтовий механізм по вазі не важчий за рейковий, але складніше і дорожче у виготовленні і вимагає ретельного догляду і спостереження за станом різьби гайки і гвинта під час експлуатації кранів.

Гідравлічний механізм може забезпечувати дуже плавні пуски і гальмування механізму, але складний і дорогий у виготовленні. При експлуатації вимагає кваліфікованого догляду і спостереження.

Секторний механізм громіздкий, важкий і складений у виготовленні.

Секторно-кривошипний механізм є проміжним між секторним і кривошипно-шатуновим, він простіший і легший за секторний.

Кривошипно-шатуновий механізм за умови, якщо крайні положення стріли відповідають мертвим точкам механізму, надійний і безпечний в експлуатації, оскільки не вимагає кінцевих захистів і унеможливлює падіння

або закидання стріли на кран під час переходу її за крайні положення. По вазі це один з найважчих механізмів.

Механізм зміни вильоту стріли, служить для переміщення підвішеного на крюк вантажу або грейфера в горизонтальному напрямі в межах крайніх положень стріли шляхом зміни її вильоту. Вантаж, підвішений на крюк або розташований в грейфері, переміщається зі швидкістю приблизно 1 метр в секунду (м/с).

Розділ 2. Механізм зміни вильоту стріли

2.1. Редуктор

Система електроприводу призначена для зміни вильоту А-Б стріли крану згідно технологічному процесу роботи крана (Рисунок.2.1)

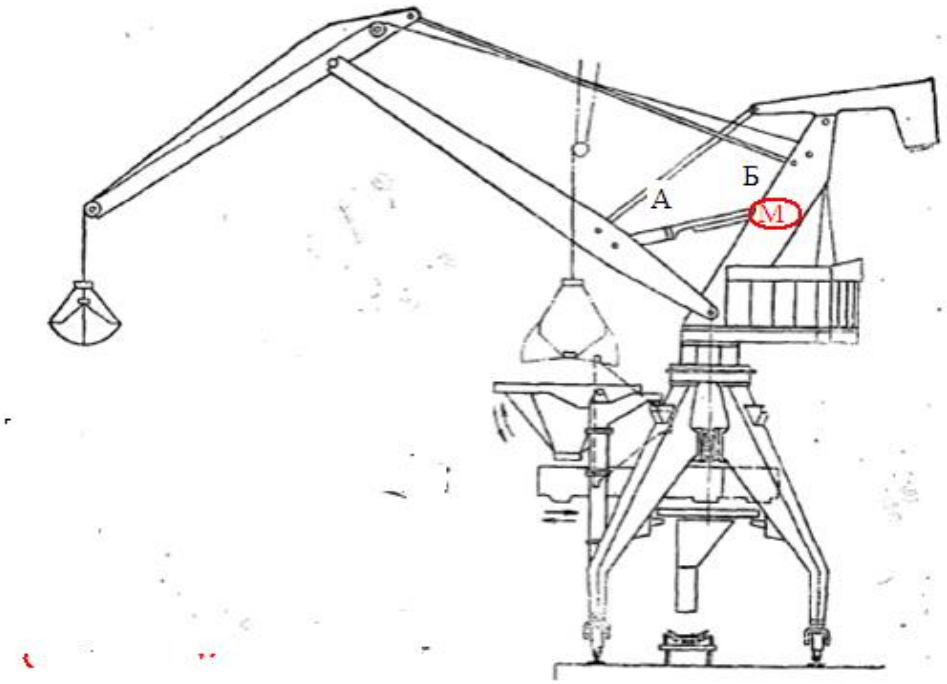


Рисунок.2.1- Зміна величини вильоту стріли крана.

Управління механізмом зміни величинии вильоту стріли здійснюється електродигуном А (Рисунок.2.2) через редуктор В.

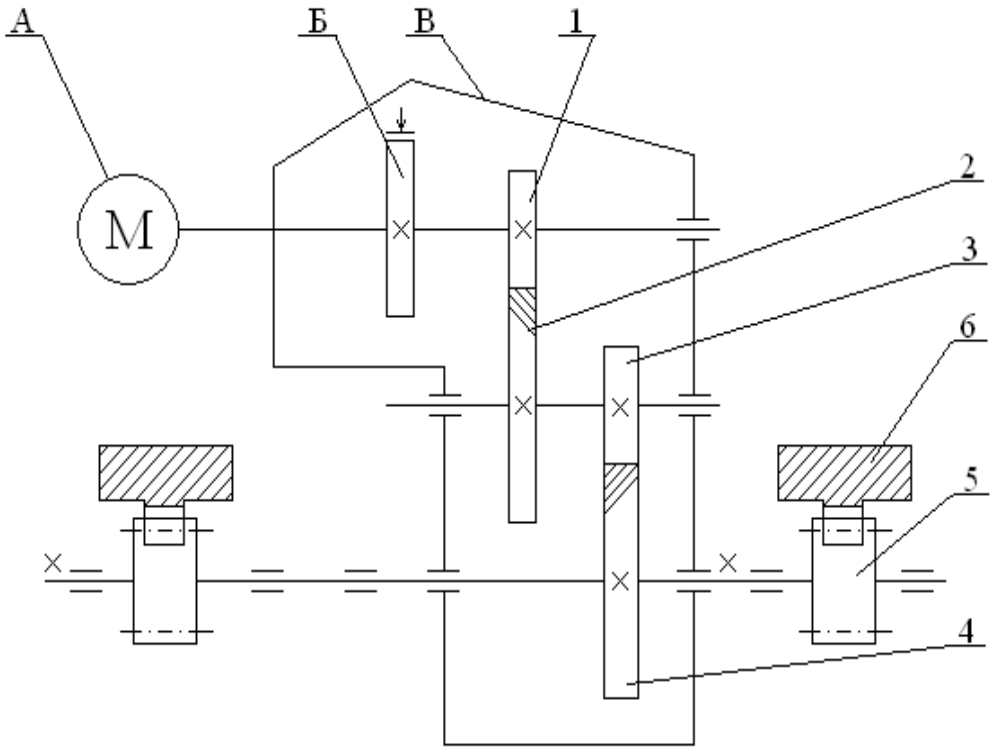


Рисунок. 2.2 - Кінематична схема редуктора зміни вильоту стріли

де А - електродвигун; Б - еластична муфта; У - редуктор, що коливається; Перша передача: 1 - вал-шестерня; 2 - зубчасте колесо. Друга передача: 3 - вал-шестерня; 4 - зубчасте колесо. Відкрита передача: 5 - шестерня рейкова; 6 - рейка.

2.2. Вимоги, що пред'являються до електроприводу механізму вильоту стріли

До електроприводу зміни вильоту стріли пред'являються наступні вимоги:

1. Робоча напруга мережі не повинна перевищувати 660 В.

2. Усі електроприводи необхідно обладнати приладами електричного захисту, що спрацьовують при коротких замиканнях і перевантаженнях. Для захисту від тривалих перевантажень бажане використання вбудованих в обмотки двигуна температурних датчиків, оскільки зовнішні облаштування електротеплового захисту неефективні.

3. У багатодвигуних електроприводах спрацьовування захисту одного з електродвигунів повинне призводити до автоматичного відключення інших.

4. Механізм вильоту стріли слід оснащувати кінцевими вимикачами ходу.

5. Усі механізми, за винятком механізму повороту, необхідно обладнати механічними гальмами закритого типу, механізмами, що загальмовують, при зникненні напруги живлячої мережі.

6. Слід забезпечити можливість випробування і контролю елементів системи управління електроприводом при відключених силових ланцюгах і загальмованих механізмах.

7. Системи управління повинні мати нульове блокування і захист, можливості мимовільного пуску електродвигунів, що виключають, і мінірисьний захист, що відключає електропривод при значному зниженні напруги мережі.

8. Управління електродвигунами усіх механізмів треба здійснювати за допомогою двох комбінованих командоапаратів. Один командоапарат призначений для механізмів повороту і вильоту, а інший для механізму підйому. Напрями переміщення руків'я управління повинні відповідати напрямам переміщення вантажу.

9. Системи управління повинні забезпечувати незалежне виконання і поєднання повороту операцій крану, зміни вильоту стріли і вертикального переміщення вантажів.

10. Система управління електроприводом механізму зміни вильоту стріли повинна, як правило, забезпечувати короткочасний перехід в режим

електричного гальмування при перекладі руків'я управління з робочого положення в нульове з подальшим накладенням механічних гальм.

11. При запуску і електричному гальмуванні електроприводу механізму зміни вильоту стріли амплітуда кута відхилення канатів від вертикалі (з вантажем номінальної маси) має бути не більше $3,5^0$ (0,06 радіан).

12. Системи управління електроприводів мають бути уніфіковані. Електроприводи механізмів однакового функціонального призначення повинні мати єдині схеми рішення незалежно від вантажопідйомності кранів.

13. У перехідних режимах роботи електроприводів системи управління, що встановилися, повинні забезпечувати заданий характер руху робочого органу.

14. Системи управління мають бути стійкими до дії зовнішніх перешкод, спотворень форми кривої струму і змін напруги живлячої мережі. У системах управління мають бути передбачені пристрої для пригнічення власних перешкод, що викликають спотворення форми кривою струму живлячих мереж для забезпечення якості електроенергії.

15. Розрахунок потужності електродвигуна механізму зміни вильоту стріли повинен робиться на відносну тривалість 60% або 40%.

16. Місце установки нульового вимикача повинне вибиратися з урахуванням забезпечення безпечного вибігання механізму : для механізму вильоту стріли - l= (0,6÷0,8) V, де V - максирисьна лінійна швидкість, м/с.

17. Для безударного вибору проміжків в передачах системи управління електроприводом механізму зміни вильоту стріли повинна забезпечити попередній момент двигуна 0,2 $M_{ном}$, при тривалості дії 0,4 - 0,5 секунд.

18. Конструкція і розміщення обладнаня управління на кранах повинно забезпечувати захист персоналу, від випадкових дотиків до токоведущих частин, захист встановленого електроустаткування від попадання на них атмосферних опадів, зручність обслуговування, а також легке виявлення, і швидку заміну несправних елементів. Для забезпечення безпечної роботи

електроприводу механізмів кранів повинні мати міру захисту IP 44 (бризкозахищені).

19. Системи управління необхідно комплектувати в основному з серійно виготовлених вітчизняних виробів.

20. Усі апарати повинні відповідати вимогам діючих ГОСТів і умовам роботи кранів.

21. При виборі комутаційних апаратів слід орієнтуватися на електричну апаратуру, що має максирисьну зносостійкість, що відповідають умовам надійності і довговічності роботи кранів в цілому.

22. Комплектні пристрої управління і автоматизації повинні мати схеми внутрішніх з'єднань, розміщених на зовнішніх або внутрішніх з'єднань елементах їх конструкцій.

23. Внутрішні з'єднання між апаратами, а також виведення від них до контактних затисків мають бути виконані дротами з багатодротяними жилами.

24. Контактні затиски, а також кінці дротів (жил, кабелів) повинні має чіткі і міцні позначення і нумерацію.

25. Деталі контактних з'єднань елементів системи управління мають бути надійно захищені від корозії.

Розділ 3. Вибір системи електроприводу

3.1. Обгрунтування вибору системи електроприводу

Оскільки в якості приводних двигунів механізмів крану використовуються в основному тільки асинхронні двигуни (з короткозамкнутим або фазним ротором), то доцільно розглядати силові системи управління саме на базі асинхронних двигунів, оскільки перехід на синхронний привід не доцільний з техніко-економічних причин (немає вибору потужних синхронних двигунів і дорогі силові перетворювачі, що живлять їх). Привід же постійного струму також не доцільний із-за складнішого і дорожчого технічного обслуговування, меншої надійності,

постійного режиму ударного навантаження (різке зниження терміну служби - потрібно спеціальні двигуни), різке дорожчання модернізації електроприводу внаслідок заміни двигунів, виробництва додаткових механічних, монтажних і налагоджувальних робіт і тому подібне. У свою чергу є значне число систем електроприводу на базі асинхронного двигуна і способів їх регулювання, що мають різні можливості, переваги і недоліки.

Можливі способи регулювання швидкості асинхронного електроприводу можна розділити на три групи:

1. Способи регулювання, при яких ковзання S змінюється в широких межах і втрати, що виділяються у вигляді теплоти в елементах роторного ланцюга, пропорційні ковзанню.

2. Способи регулювання, при яких абсолютне ковзання Sa двигуна при регулюванні залишається невеликим і досягає критичного ковзання на природній характеристиці (S_a менше критичного.

3. Способи регулювання, при яких абсолютне ковзання при регулюванні змінюється в широких межах, але втрати енергії ковзання в роторному ланцюзі обмеженні.

До першої групи способів регулювання швидкості асинхронного електроприводу відносяться:

- реостатне регулювання
- регулювання зміною напруги на статорі двигуна.

При регулюванні зміною напруги на статорі двигуна втрати в роторному ланцюзі пропорційні ковзанню. Отже, при тривалому режимі для виключення перегрівання двигуна необхідно знижувати його навантаження в обернено пропорційній залежності від ковзання. Для двигунів з самовентиляцією це зниження має бути більше з урахуванням погіршення умов охолодження у міру зниження швидкості. Із-за наявності втрат в двигуні пропорційних ковзанню, сфера застосування замкнутих систем електроприводу за швидкістю при цьому способі регулювання обмежується

механізмами з навантаженням вентилятора або працюючі з короткочасним зниженням швидкості впродовж циклу.

До другої групи способів регулювання швидкості асинхронного електроприводу відноситься частотне регулювання і регулювання зміною числа пар полюсів. Регулювання зміною числа пар полюсів неприйнятно вже із-за дискретності зміни частоти обертання, не кажучи вже про інші техніко-економічні показники.

Частотне регулювання моменту асинхронного двигуна, в порівнянні з системою постійного струму, керованою шляхом зміни напруги якоря двигуна, складніше у зв'язку з відсутністю окремого незалежного каналу регулювання потоку двигуна, яким є обмотка збудження двигуна постійного струму. Іншою особливістю є складність виміру ряду координат асинхронного двигуна, обумовлена роботою двигуна на змінному струмі. Тому в замкнутих системах частотного регулювання швидкості для регулювання потоку і моменту двигуна використовуються позитивні зворотні зв'язки, компенсуючі ті або інші збурення, а також непрямі методи виміру змінних.

Для створення сучасних систем частотного управління асинхронного двигуна використовується принцип орієнтування по полю двигуна, основою якого служать координатні і фазні перетворення змінних, що спрощують не лише аналіз динамічних процесів електромеханічного перетворення енергії, але і успішно застосовуються в якості математичної основи побудови алгоритмів функціонування систем управління електроприводу змінного струму. Цей принцип полягає в тому, що якщо при застосуванні асинхронного двигуна оперувати в цілях управління не з реальними змінними машинами, а з перетвореним до координатних по полю осей, то можна окремо управляти магнітним потоком і моментом двигуна, маючи справу не з синусоїдальними величинами, а з постійними їх перетвореними значеннями.

Ця система забезпечує діапазон регулювання 30: 1, хоча в деяких джерелах вказується діапазон регулювання 50: 1. Проте, для механізму вильоту стріли такий діапазон є надмірним, крім того такі системи відрізняються великою складністю облаштування системи управління, дорогі, вимагають високої кваліфікації обслуговуючого персоналу. Враховуючи сказане застосування цієї системи є не доцільним.

Істотним недоліком усіх розглянутих способів регулювання швидкості асинхронного двигуна при ω_0=const є зростання втрат енергії в роторному ланцюзі при зниженні швидкості пропорційно ковзанню. Проте, у асинхронних двигунів з фазним ротором цей недолік можна усунути шляхом включення в ланцюг ротора джерела регульованої електрорушійної сили, за допомогою якої енергію ковзання можна або повернути в мережу, або використати для здійснення корисної роботи. Проте, у асинхронних двигунів з фазним ротором цей недолік можна усунути шляхом включення в ланцюг ротора джерела регульованої електрорушійної сили, за допомогою якої енергію ковзання можна або повернути в мережу, або використати для здійснення корисної роботи.

Схеми асинхронного електроприводу з включенням в ланцюг ротора додаткових ступенів перетворення енергії для використання і регулювання енергії ковзання дістали назву каскадних схем (каскадів).

Якщо енергія ковзання перетвориться для повернення в електричну мережу, то каскад називають електричний. Якщо енергія ковзання перетвориться в механічну енергію і поступає на вал двигуна, то такі каскаду називають електромеханічними.

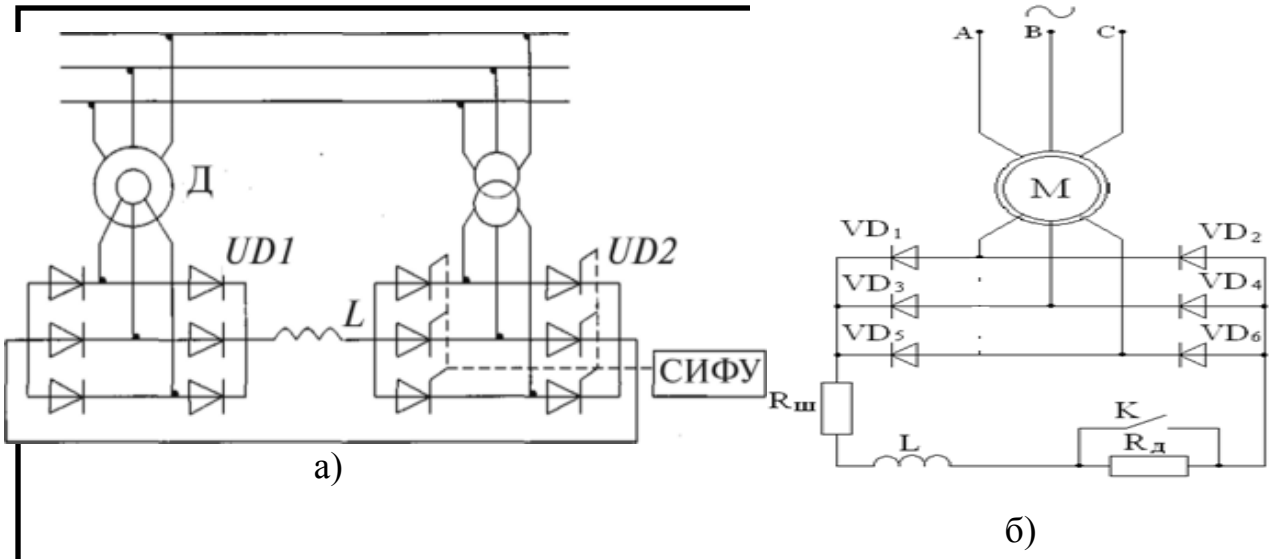
Прикладом електричного каскаду є каскад з асинхронним двигуном, працюючому в режимі машини подвійного живлення. У ланцюг ротора асинхронного двигуна включається перетворювач частоти, здатний як споживати енергію ковзання і генерувати в мережу, так і передавати двигуну енергію з мережі з боку ротора на частоті ковзання, тобто управляти потоком енергії в ланцюзі ротора як прямому, так і у зворотному напрямі.

Проте, існує ціла група механізмів, у яких можуть бути понижені вимоги до управління потоком потужності ковзання на шляху її повернення в мережу або передачі на вал двигуна. До таких відносяться нереверсивні механізми, працюючі з реактивним навантаженням на валу і не вимагаючі роботи двигуна в генераторному режимі в процесі гальмування. В цьому випадку можна обмежитися однозначним регулюванням швидкості, при якому в руховому режимі напрям потоку потужності ковзання незмінно, тобто від ротора двигуна на вал або в мережу. Це дозволяє істотно спростити каскадні схеми, застосувавши в каналі перетворення потужності ковзання некерований випрямляч.

Якщо для перетворення випрямленого струму і його рекуперації використовується електромашинний агрегат, то каскад називається машинно-вентильним. У нім випрямлений струм спрямовується в обмотку якоря двигуна постійного струму, сполученого з валом асинхронного двигуна, який перетворить електричну енергію ковзання в механічну, таку, що поступає на вал асинхронного двигуна.

Якщо ж замість електромашинного агрегату далі використовується вентильний інвертор ведений мережею, то каскад називається вентильним (асихронно-вентильним) каскадом (Рисунок.3.1,а).

Асихронно-вентильний каскад застосовується в електроприводі невеликої потужності, тому їх електричний опір більший, ніж електричний опір машинно-вентильного каскаду, використовуваного в електроприводі великої потужності, що викликає помітнішу зміну відповідно до жорсткості механічних характеристик при зменшенні швидкості. Тому для підвищення точності регулювання використовують автоматичне управління швидкості каскаду по підключенню і відключенню додаткового резистора $R_д$, подаючи сигнал помилки на вхід системи управлыння. Завдяки високому коефіцієнту підсилення і швидкодії системи управління створюються практичні можливості регулювання швидкості.



а)

б)

Рис. 3.1 – а-синхронно-вентильний каскад; б-імпульсне регулювання швидкості асинхронного двигуна

Коефіцієнт корисної дії асихронно-вентильного каскаду вищий, ніж у машинно-вентильного каскаду. До того ж немає додаткових електричних машин, що обертаються, і не потрібно додаткові фундаменти і механічні монтажно-налагоджувальні роботи.

Імпульсне параметричне регулювання швидкості асинхронного двигуна можна здійснити як по ланцюгу статора, так і по ланцюгу ротора у разі використання асинхронного двигуна з фазним ротором (Рис. 3.1,.б) .

У першому випадку статичні механічні характеристики аналогічні характеристикам системи з тиристорним регулятором напруги асинхронного двигуна, а асинхронний двигун може працювати в усіх чотирьох квадрантах: в руховому - I квадрант, в генераторному - II квадрант (з рекуперацією енергії в мережу), в динамічному гальмуванні з незалежним або самозбудженням за наявності відповідної схеми - III квадрант, IV квадрант (у режимі противключеня під дією активного моменту). В якості ключа К використовується безконтактний комутатор (транзистор, тиристор) і при досить великій частоті комутації f_0 ключа можна вважати, що в ланцюги статора включений опір R_{var}, величина якого плавно змінюється від 0 до $R_д$ при зміні скважності γ імпульсів від 1 до 0.

$$\gamma = \frac{t_{имп}}{\mathrm{T}_0},$$

де $t_{имп}$ - тривалість замкнутого стану ключа;

$\mathrm{T}_0 = \frac{1}{f_o}$ - період комутації.

Зв'язок між R_{var} і γ виражається лінійною залежністю:

$R_{\text{var}} = R(+\gamma)$

При зниженні швидкості (збільшенні R_{var}) різко падає момент, зростають втрати в ланцюзі ротора і виділяються у вигляді тепла, викликаючи додатковий нагрів двигуна. Зростають втрати і в резисторах $R_{д.}$ Таких втрат в системі регулятора тиристора напруги асинхронного двигуна немає. Тому ця схема може бути використана в електроприводах великої потужності і в короткочасному режимі роботи. Діапазон регулювання двигуна в тривалому режимі зазвичай складає (1,5 - 2).

Краще використання двигуна при імпульсному параметричному регулюванні кутової швидкості асинхронного двигуна досягається коли застосовується двигун з фазним ротором (Рисунок. 3.1). В цьому випадку додаткові втрати потужності, обумовлені регулюванням кутової швидкості в основному виділяються в додатковому резисторі $R_д$ поза машиною. Крім того відсутні резистори в ланцюгах статора і відповідно виключаються додаткові втрати в них.

Додатковий резистор $R_д$ включений через некерований випрямляч в роторний ланцюг послідовно із згладжуючим реактором L, необхідним для виключення режиму переривчастих струмів. Тут, як і в попередній схемі, робота асинхронного двигуна можлива в усіх чотирьох квадрантах, а функціонування ключа К аналогічно. Проте, зона регулювання розширюється, оскільки справа обмежується ординатою, що відповідає величині критичного моменту асинхронного двигуна.

Енергетичні показники при імпульсному регулюванні опору дещо гірші, ніж при ступінчастій зміні опорів в фазах ротора. Це обумовлено пульсаціями випрямленого струму, що збільшують втрати; наявністю в ланцюгах обмоток ротора випрямівного моста, який спотворює форму струму фаз ротора, що призводить до появи моментів вищих гармонік і додаткових втрат.

Для здійснення реверсу можуть застосуються контактні або безконтактні (тиристори) елементи. Введення СІФУ для управління тиристорами в ланцюгах статора (регулятора тиристора напруги), що розрізняють певні алгоритми дозволить розширити зону регулювання аж до осей координат.

Імпульсне управління асинхронним двигуном з фазним ротором по ланцюгу випрямленого струму забезпечує регулювання кутової швидкості простими засобами, плавно, в широких межах і з високою швидкодією.

Враховуючи, що тахограми (циклограми) роботи механізму вильоту стріли представляють за формою трапеції (розгін, стабілізація швидкості, гальмування), тобто практично немає інтервалів роботи на знижених швидкостях, то система асинхронний двигун з фазним ротором - широко-імпульсний регулятор в ланцюзі ротора являється найприйнятніше для приводу механізму вильоту стріли. При цьому необхідно враховувати також ряд наступних обставин, використовується колишній асинхронний двигун, не треба проводити додаткових механо-складальних і налагоджувальних робіт, не потрібно додаткові площі і фундаментні конструкції.

Висновки:

1 Проведений аналіз техніко-економічних показників системи електроприводу з метою можливості застосування їх в механізмах кранів.

2 .Переважна більшість портальних і плавучих кранів мають вантажопідйомність від 5 до 25 тонн. Усі їх механізми працюють в повторно-короткочасному режимі роботи з ТВ від 25% до 60%.

3 .Для приводу механізмів використовується як правило асинхронні двигуни.

4 .Циклограми роботи усіх механізмів кранів за формою ідентичні і включають усі основні ділянки: розгін, робота з максирисьною швидкістю, гальмування, робота з проміжною (посадочною) швидкістю, зупинка (посадка) і пауза.

5 Графіки M (t) і ω (t) повинні мати аперіодичний характер.

6 .Управління системою електроприводу має бути таким, щоб виключалися процеси коливань і розгойдування механізмів і вантажу.

3.2 РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ

Оптимізація стріловидної системи полягає у визначенні значень усіх параметрів її схеми так, щоб вони відповідали завданню на проектування, компонувальним обмеженням (задовільність траєкторії вантажу) і були близькі до оптимальнихних за економічним показником або, в першому наближенні, по масі стрілової системи. Таким чином можна умовно виділити групи параметрів, що призначаються безпосередньо за завданням на проектування; по компонувальних (чи іншим) обмеженнях; визначуваних по експлуатаційних обмеженнях або оптирисьно по масі стріловидної системи - функціональні параметри, що отримуються в процесі оптимізації.

Параметри першої групи дані в завданні (тип стріловидної системи, тип урівноважуючого пристрою і тип механізму зміни вильоту, G - вага вантажу, Rmax - максирисьний, Rmin - мінірисьний виліт, H - висота підвісу вантажу, Vcp - середня швидкість горизонтального переміщення вантажу, режим ТВ%). Параметри другої групи визначаємо на підставі рекомендацій. Схема стріловидного пристрою представлена на (Рисунок. 3.2.).

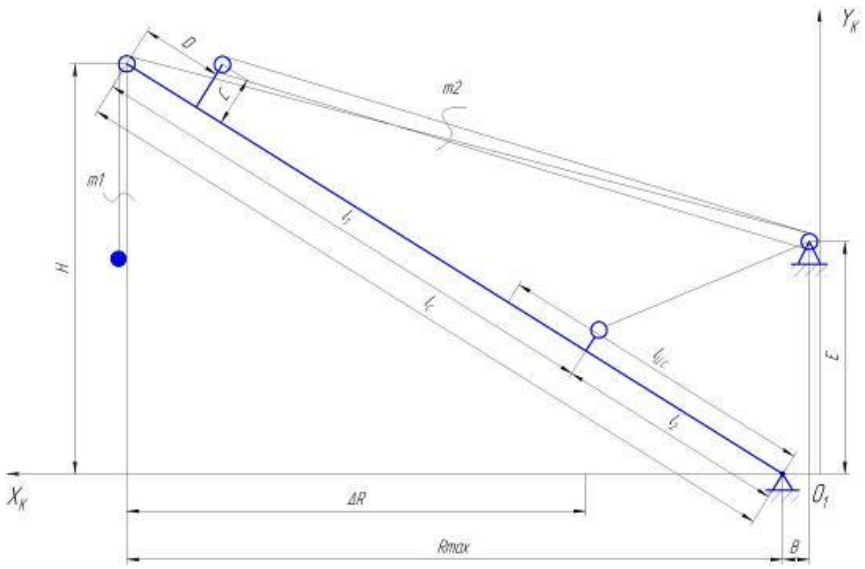


Рисунок. 3.2. Схема стрілового пристрою з прямою стрілою

Діапазон зміни вильоту:

$\Delta R=R_{max}-R_1=32–8=24$ м.

Висота підйому стріли на максирисьному вильоті:

H=25 м.

Координати розташування блоку на стрілі:

C=(0…0.4) ΔR, D=(0…0.115) ΔR

C=D=0 м.

Вага вантажу:

$G_{гр}=49$ кН.

Вага блоків і підвіски приймаються рівними 5% від ваги вантажу:

$G_{бл}=G_п=49*0.05=2.45$ кН.

Кратність вантажного поліспасту:

m=1.

Кратність зрівняльного поліспасту:

m=3.

Напруга, що допускається, для сталі 09Г2С, для II випадку вантаження:

[σ]=160 МПа.

Динамічний коефіцієнт для крюкового портального крану і для випадку навантаження II:

$\psi_{II}=1.5$.

Кут відхилення канатів від вертикалі для портальних крюкових кранів для режиму 5М :$\alpha_{II}=15^0$

Співвідношення $l_2/l_C=0.3$.

Вантажний неурівноважуючий момент на максирисьному вильоті:

$M_1=0$.

Вантажний неурівноважуючий момент на мінірисьному вильоті:

$M^2=0.05G\Delta R=58800$ Н*м.

3.3. Розрахунок параметрів вильоту стріли

Допустиме відхилення траєкторії вантажу від горизонталі для портальних кранів: $\Delta Y_{\Gamma} = (0.01 - 0.04)\cdot\Delta R = (0.24 - 0.96)$м

Відхилення траєкторії вантажу від горизонталі знаходимо з наступних міркувань. При зміні вильоту загальна довжина вантажного поліспасту залишається постійною, міняється довжина ділянки між блоком на колоні і блоком на стріл. При збільшенні вильоту від максирисьного до мінімального довжина цієї ділянки змінюється, за рахунок чого змінюється довга підвіски вантажу. Але в той же час стріла піднімається і відстань від кінця стріли (точки підвісу вантажу) до початкового положення збільшується. Прийнявши початкове положення вантажу за нуль, обчислюємо різницю між цими величинами, отримуючи, таким чином, траєкторію руху вантажу. Відхилення вантажу від горизонталі вичислимо по наступній формулі:

$$Y_{гpi} = L_i + m_2\cdot l_{пi} - \left| L_{i+1} + m_2\cdot l_{пi+1} \right|$$

де L_i – довжина підвіски з вантажем для цього положення стріли;

$l_{пi}$ – довжина зрівняльного поліспасту для цього положення стріли.

Результати розрахунків моментів в залежності від точки підвісу приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 -Результати розрахунків моментів в залежності від точки підвісу.

R, м	32	27	22	18	13	8
N_G, кН	172	179	185	190	193	195
r_G, м	0	-0.24	-0.27	-0.17	0	0.3
M_G, кН·м	0	-42	-50	-32	0	58
$Y_{гр}$, м	0	-0.09	-0.24	-0.36	-0.4	-0.314

Для шести положень стріли на рисунку 3.3 предсавлено графіки вантажного неурівноваженого моменту в залежності від координат підвісу ваптажу R.

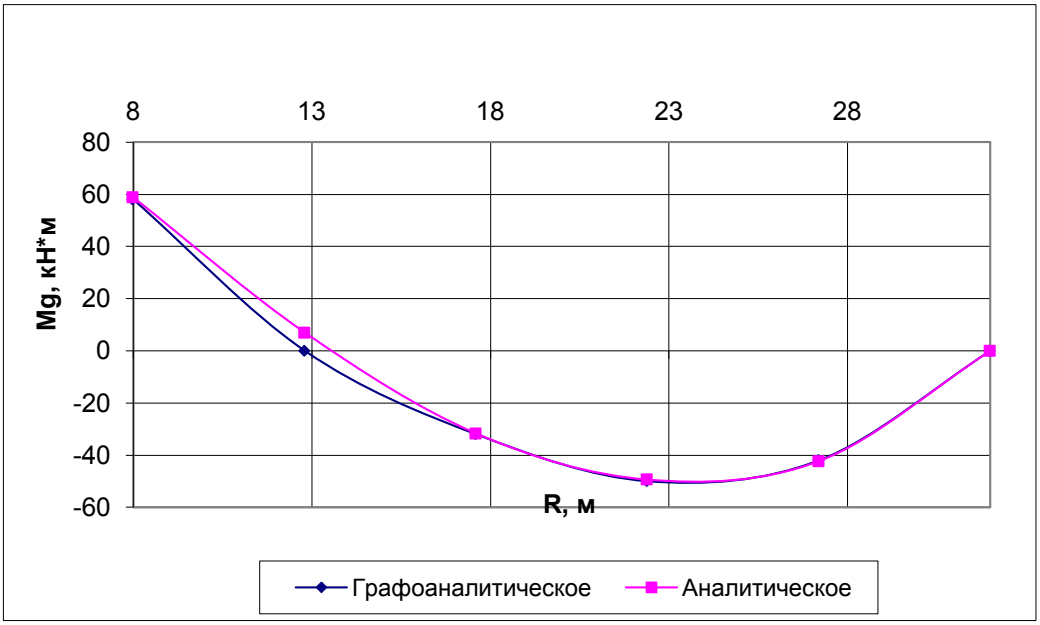


Рисунок. 3.3. Графік зміни вантажного неурівноваженого моменту

3.4. Силовий аналіз стріловидної системи

3.4.1 Визначення стрілового моменту

Стріловидний момент Мс ваги стріловидного пристрою відносно осі гойдання стріли рівний визначається так: $M_c = G_c r_c + (G_{бл} + G_{под})\ R$,

G_c, $G_{бл}$, $G_{под}$ – вага стріли, блоку, підвіски;

r_c – плече ваги стріли відносно точки O_1,

$r_c=l_{Ц.С}\cos\varphi_c$,

Положення центрів тяжіння стріли(Рисунок. 3.2) знаходимо по наступних залежностях:

$$l_{ц.с} \approx l_c - \frac{0,6l_{1c}^2 + l_{2c}(l_c - 0,6l_{2c})\sqrt{2}}{l_{1c} + l_{2c}\sqrt{2}} =$$

$$40.6 - \frac{0.6\cdot 28.42^2 + 12.18\cdot(40.6 - 0.6\cdot 12.18)\cdot\sqrt{2}}{28.42 + 12.18\cdot\sqrt{2}} = 17.42\text{м}$$

φ_c – кут нахилу стріли, його значення при різних 6 положень наведені в табл.3.2:

Таблиця 3.2-Кут нахилу стріли

R, м	32	27	22	17	13	8
φ_c	38^0	48^0	57^0	63^0	72^0	79^0
r_c,м	14	12	10	8	5	3

Результати розрахунку стрілового моменту зведені в таблицю 3.3 за даними якої на рисунку 3.3 приведено графік зміни стрілового моменту точки підвісу R

Таблиця 3.3-Результати розрахунку стрілового моменту.

R, м	32	27.2	22.4	17.6	12.8	8
M_c, кНм	626	533	439	345	251	157

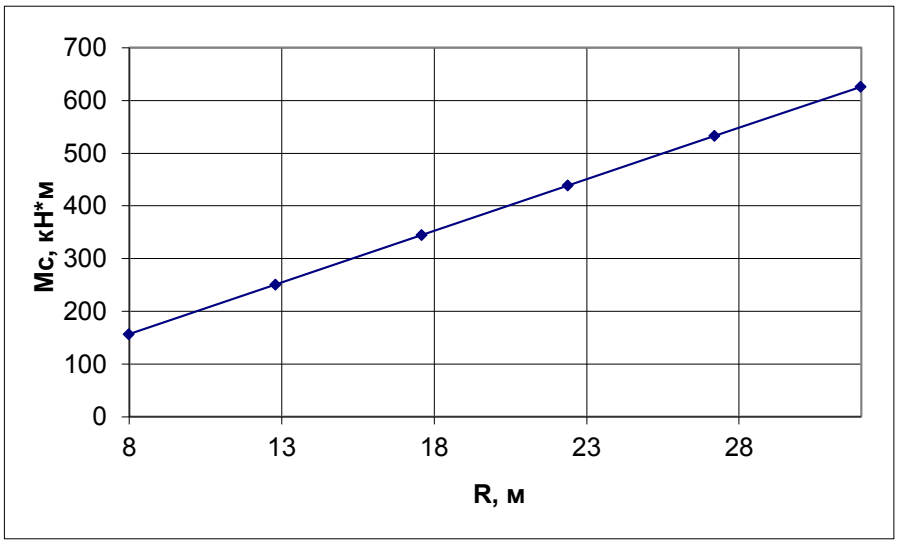


Рисунок. 3.4. Графік зміни стрілового моменту в залежності від точки підвісу.

За результатами розрахунку будується графік стрілового моменту залежно від кута нахилу стріли (Рисунок.3. 5), який надалі, після розрахунку механізму урівноваження, буде використаний для визначення неурівноваженого стрілового моменту.

3.4.2. Розрахунок навантажень, викликаних відхиленням канатів від вертикалі

Момент відхилення канатів канатів від вертикалі знаходимо аналітичним методом.

Сила , що створюєцей момент визначається за формулою:

$T_1=G\cdot tg\alpha_{II}=49\cdot tg\ 15=13.13$ кН, а момент буде $M_\alpha = T_1 \cdot r_\alpha$.

Значення знайдених моментів зведені в таблицю 3.4:

Таблиця 3.4-Значення знайдених моментів.

R, м	32	27	22	18	13	8
r_α, м	25	30	34	37	39	40
M_α, кНм	328	395	444	480	506	523

По цих значеннях будуються два симетричні графіки, від моментів з протилежними знаками, оскільки напрям відхилення канатів може змінюватися (Рисунок. 3.5).

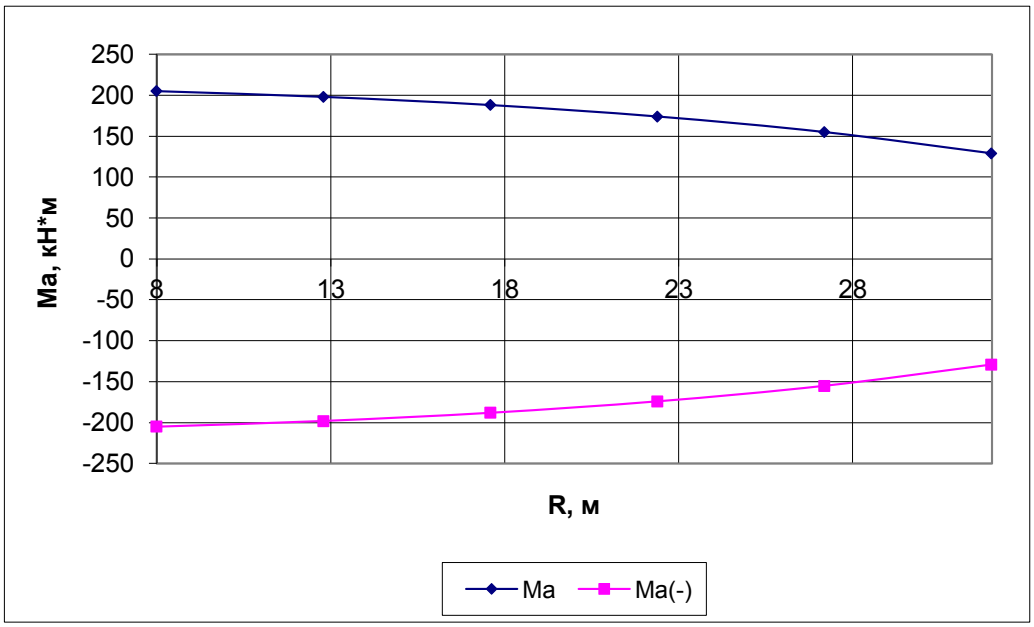


Рисунок. 3.5. Графік зміни навантажень від відхилення каната від вертикалі.

3.4.3. Розрахунок вітрових навантажень на стріловий пристрій

Момент від вітрового навантаження визначається по наступній формулі:

$M_в=P_{в.с}h_{в.}$,

де $P_{в.с}$ – вітрове навантаження на стрілу, яка прикладена в центрі тяжіння стріли.

$P_{вс}=p_вF_н$,

де $p_в$ – розподілений тиск вітру в цій зоні висоти;

$F_н$ – розрахункова навітряна площа конструкції.

$p_в=qkcn$,

де q – динамічний тиск вітру, q=125 Па;

k – коефіцієнт, що враховує зміну динамічного тиску по висоті;

c – коефіцієнт аеродинамічної сили, c=1.2;

n – коефіцієнт перевантаження, для робочого стану що приймається рівним 1 незалежно від вживаного методу розрахунку.

Розрахункову на вітряну площу стріли і хобота отримаємо, виходячи з геометричних параметрів перерізи, які розрахуємо методом напруги, що допускається.

Площа визначається по наступних формулах:

$F_{н.с}=b_c l_c 2/3+F_Г$;

де $F_Г=7.1$ м² – навітряна площа вантажу

$b_c = 0{,}872$ м- ширина площі перерізу конструкції.

Обчислюємо величини навітряних площ:

$F_{н.с}=0.872 \cdot 40.6 \cdot 2/3=23.6$ м²;

Сила від вітру, що діє на стрілу

$$P_{вс} = 125 \cdot 1 \cdot 1.25 \cdot 1 \cdot 23.6 = 3688Н = 3.68кН$$,

Результати обчислень коефіцієнт, що враховує зміну динамічного тиску по висоті в таблиці 3.5 і на рис. 3.6.

Таблиця 3.5-Коефіцієнт, що враховує зміну динамічного тиску по висоті.

R, м	32	27.2	22.4	17.6	12.8	8
k	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
$M_в$, кНм	40	47	54	58	61	63

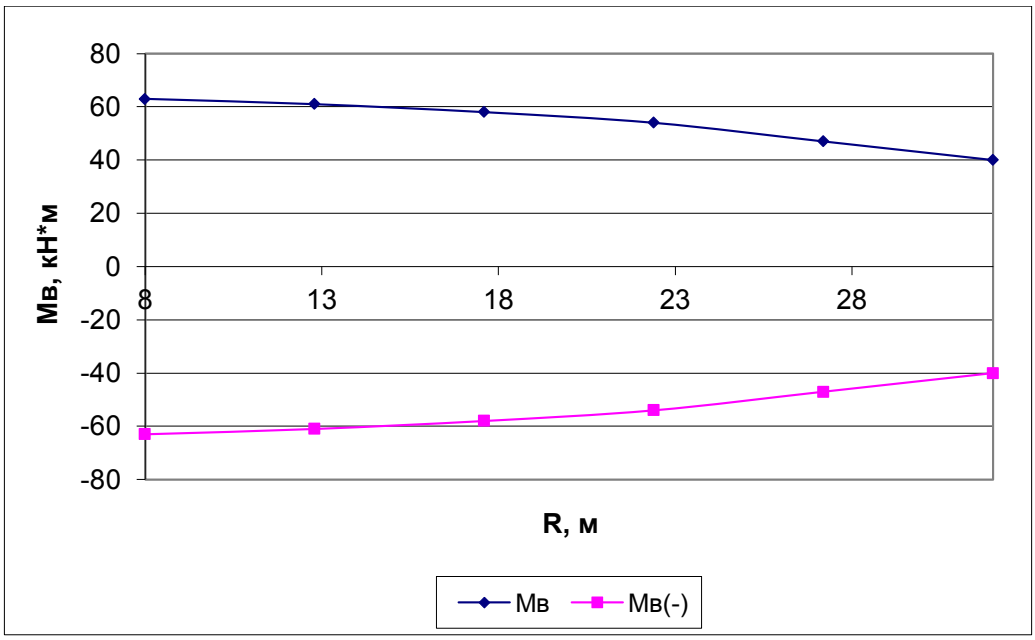


Рисунок. 3.6. Графік зміни вітрового моменту

3.4.4. Сумарні вітрові моменти навантаження на стріловий пристрій

Маємо два результуючі моменти на стрілу: "М+" - випадок, коли вітровий момент співпадає по напряму із стріловим моментом і моментом від гойдання вантажу; "М -" - випадок, коли вітровий момент і момент від гойдання вантажу протилежні по напрямку до моменту від ваги стріли.

$$M+ = M + M_C + M_B + M_\alpha ; \qquad M+ = M + M_C - M_B - M_\alpha$$

Результати розрахунку представлені в таблиці 3.6 і на рисунку 3.7.

Таблиця 3.6-Моменти навантаження на стріловий пристрій.

R, м	32	27.2	22.4	17.6	12.8	8
М+, кНм	994	933	887	851	818	801
М-, кНм	258	49	-109	-225	-316	-371

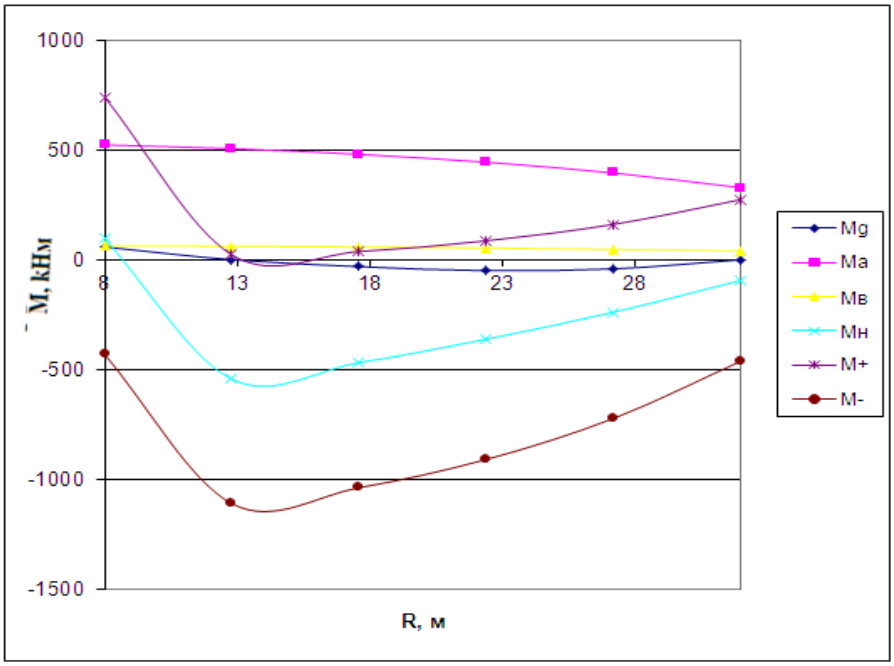


Рисунок. 3.7. Графіки зміни моментів навантаження на стріловий пристрій.

Оскільки . маємо гвинтовий механізм зміни вильоту стріли, то сумарний момент може бути як позитивним, так і негативним.

3.4.5. Система урівноважуючого пристрою

Задана схема урівноважуючого пристрою з противагою на важелі.

Вводиться початкове і кінцеве значення кута нахилу стріли до горизонталі; граничні значення моменту противаги ($M_{п1}$=1,15$M_{с1}$=720 кНм; $M_{п6}$=$M_{с6}$-0,15$M_{с1}$=63 кНм); робота сил стріловидної системи, визначувана як площу під графіком стрілового моменту; координати точки гойдання коромисла.

Оптимамальний варіант урівноважуючого пристрою вибираємо, виходячи з вимоги рівності робіт від ваги при підйомі і противаги при його опусканні. Згідно з цим критерієм, оптимальним варіантом є варіант, в якому для противаги маємо 55т/м.

Визначимо неурівноважений момент $M_н$ сил тяжіння так:

$$M_н=M_с-M_п.$$

Значення моментів $M_с$, $M_н$ і $M_п$ для шести положень приведені в таблиці. 3.7, а також на графіках (Рисунок. 3.8,3.9).

Таблиця 3.7-Значення моментів $M_с$, $M_н$ і $M_п$.

R, м	32	27.2	22.4	17.6	12.8	8
$M_с$, кНм	626	533	439	345	251	157
$M_П$, кНм	720	772	801	814	796	61
$M_Н$, кНм	-94	-239	-362	-469	-545	96

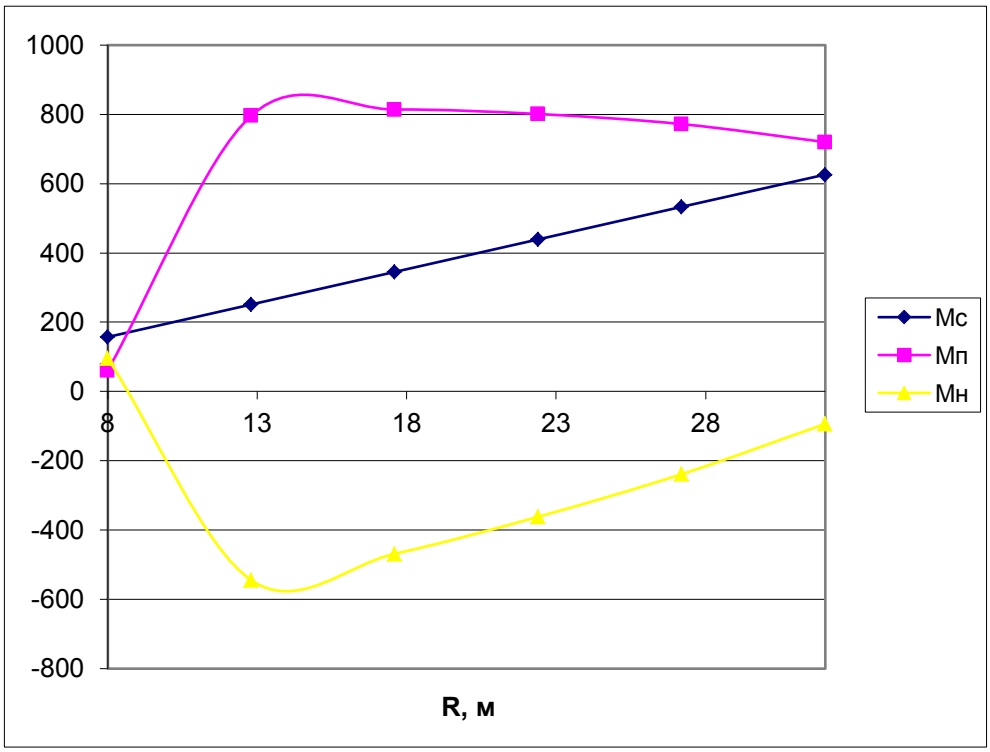


Рисунок. 3.8. Графік зміни стріловидного неурівноваженого моменту

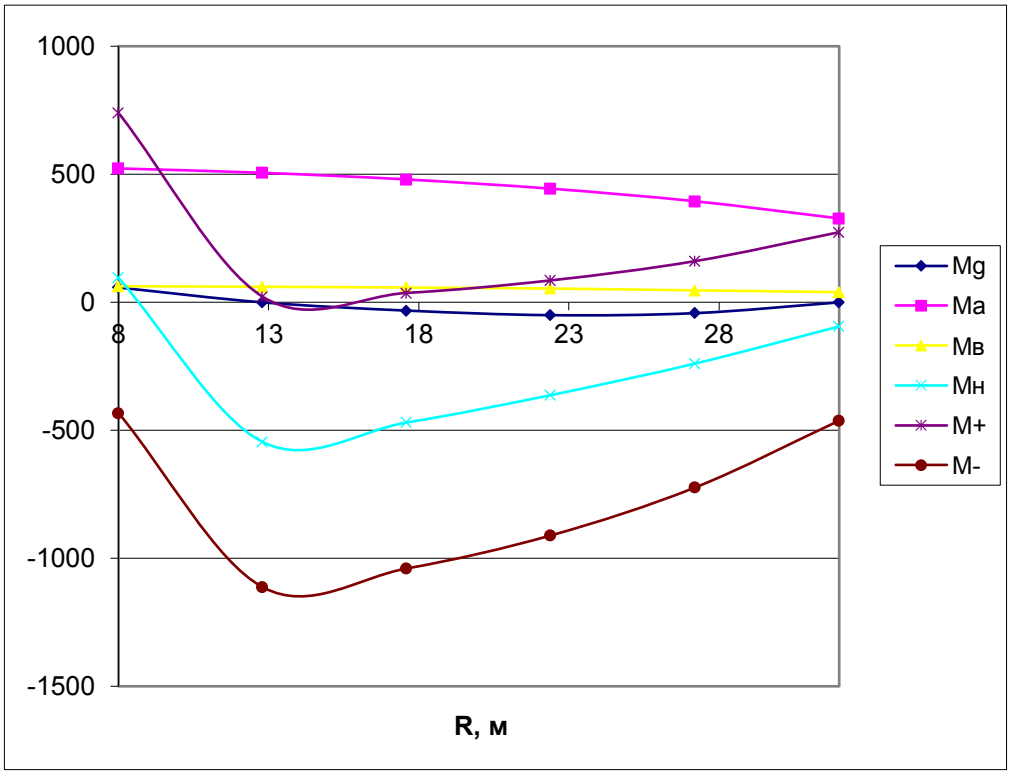


Рисунок. 3.9. Графік зміна моментів, що діють на стрілу, з урахуванням противаги.

4. Розрахунок механізму зміни вильоту стріли

4.1. Розрахунок швидкостей

У завданні дана середня швидкість зміни вильоту при заданому гвинтовому механізму:

$V_{зв}$=50 м/хв.

Для розрахунку механізму зміни вильоту необхідно знати швидкість гвинта: υ_0=3,47 м/хв=0,058 м/с. Час δt_i для ділянки між вильотами R_i и R_{i+1} знаходимо по графіку швидкості, значення δt_i приведені в таблицю. 3.8..

Таблиця 3.8-Час δt_i для ділянки між вильотами R_i и R_{i+1}

R_i-R_{i+1}	1 (R_{max}) – 2	2–3	3–4	4–5	5–6 (R_{min})
δt_i, с	0,42	0,48	0,56	0,83	1,19

Час t_0 зміни вильоту від найбільшого до найменшого дорівнює:

$t_0=\Delta R/v_{з.в}$=24/50=0,48 мин=28,8 с.

Результати розрахунку приведені в таблиці 3.9 і на рис. 3.11.

Таблиця 3.9-Середня швидкість зміни вильоту стріли.

R, м	32	27	22	18	13	8
$V_{зв}$, м/хв	54	52	50	47	43.4	38

Середня швидкість зміни вильоту при цьому рівна заданій ($V_в$=50 м/хв).

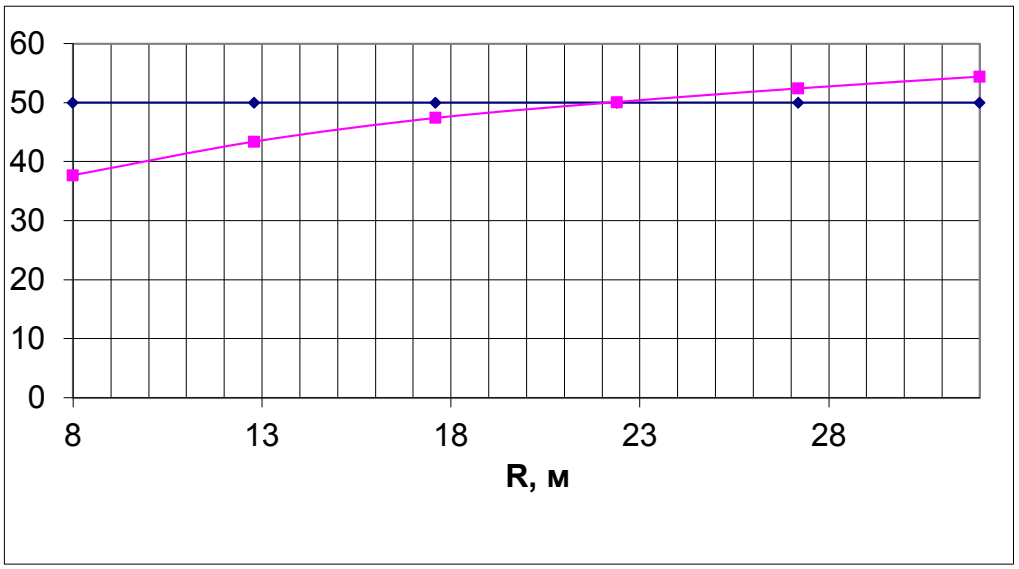


Рисунок. 3.9. Графік зміни швидкості зміни вильоту стріли.

4.2. Момент статичних сил опору.

Для визначення максирисьної потужності двигуна знаходимо найбільший момент статичних сил опору, що діє на стрілу на довільному вильоті R при русі приводу, що встановився. Момент знаходять по формулах:

$$M_{+}=M_G+M_H+M_B+M_\alpha;$$

$$M_{-}=M_G+M_H-M_B-M_\alpha,$$

де M_G – вантажний неурівноважений момент;

M_H – неурівноважений момент сил тяжіння;

M_B – абсолютна величина моменту, створеного дією вітрового навантаження;

M_α – абсолютна величина моменту, що викликається відхиленням вантажних канатів від вертикалі.

Вичислені моменти представлені в таблиці 3. 11.

Таблиця 3.11-Значення моментів, що діють на стрілу.

R, м	M_G, кНм	M_H, кНм	$M_{\alpha,}$ кНм	M_B, кНм	M_{+}, кНм	M_{-}, кНм
8	58	96	523	63	740	-432
13	0	-545	506	61	22	-1112
18	-32	-469	480	58	37	-1039
22	-50	-362	444	54	86	-910
28	-42	-239	395	47	161	-723
32	0	-94	328	40	274	-462

Для визначення статичної потужності двигуна момент M_G находятьв залежності від еквівалентної ваги:

$G_e=\varphi_э G$,

де $\varphi_э=0,7$ – коефіцієнт режиму вантаження для цього режиму роботи.

При обчисленні вітрових навантажень приймають динамічний тиск вітру 0,6q.

Результати обчислень зведені в таблиці 3. 12.

Таблица 3.12-Вантажний неурівноважений момент і решта дічих на стрілу.

R, м	$M_{Gэ}$, кНм	M_H, кНм	$M_{αэ,}$кНм	$M_{Bэ}$, кНм	$M_{э+}$, кНм	$M_{э-}$, кНм	$M_{эmax}$, кНм
32	0	-94	67.5	24	-2,5	-185,5	-185,5
27,2	-29,4	-239	81.3	28,2	-159	-377,9	-377,9
22,4	-35	-362	91.4	32,4	-273	-520,8	-520,8
17,6	-22,4	-469	98.8	34,8	-358	-625	-625
12.8	0	-545	104.2	36,6	-404	-685,8	-685,8
8	40,6	96	107.7	37,8	282,1	-8,9	282,1

4.3. Розрахунок зусилля в тяговій ланці механізму зміни вильоту стріли.

Зусилля F в тяговій ланці при моменті M на стрілі

F=M/r, де

M- сумарний момент;

r – плече зусилля в гвинті.

Результати розрахунків представлені в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13.

R, м	r, м	F_{+}, кН	F_{-}, кН	$F_{э}$, кН	$F_{-э}$, кН	F_{max}, кН	$F_{эmax}$, кН
32	11,18	66,19	-38,64	-0,22	-16,59	66,19	-16,59
27	11,53	1,91	-96,44	-13,79	-32,78	-96,44	-32,78
22	11,75	3,15	-88,43	-23,23	-44,32	-88,43	-44,32
18	11,88	7,24	-76,60	-30,13	-52,61	-76,60	-52,61
13	11,88	13,55	-60,86	-34,01	-57,73	-60,86	-57,73
8	10,59	25,87	-43,63	26,64	-0,84	-43,63	26,64

4.4. Розрахунок потужності і вибір двигуна.

Потужність двигуна визначається за формулою.

$$P_{екв}=F_{ск}v/\eta_{о},$$

де V-швидкість гвинта: V=3,47 м/хв=0,058 м/с;

$\eta_{о}$ – загальний ККД, для попередніх розрахунків $\eta_{о}$=0,85,

$F_{ск}$ – середньоквадратичне значення зусилля, визначають на найбільш вірогідному інтервалі вильотів:

$$F_{ск}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}F_i^{2}\delta t_i}{\sum_{i=1}^{n}\delta t_i}},$$

де δt_i – час для ділянки між вильотами R_i і R_{i-1}.

$\delta t_i = \Delta R / v_{ив}$.

Величини і-х зусиль визначаються за татбл.3.13 залежності зусиль від вильоту.

Величини проміжків часу δt_i і зусиль F_i представлені в таблиці 3.13:

Таблиця 3.13.

	1	2	3	4	5	6
δt_i, с	0,42	0,48	0,56	0,83	1,19	1,23
F_i, кН	16,59	32,78	44,32	52,61	57,73	96,44

$P_{екв} = 47.93 \cdot 0.058 / 0.85 = 3.27$ кВт.

Максирисьна статична потужність двигуна рівна

$$P_{max} = F_{max} v / \eta_0,$$

де максирисьне статичне зусилля F_{max} у тяговій ланці

$F_{max} = 96.44$ кН.

Обчислюємо максирисьну статичну потужність:

$P_{max} = 96,44 \cdot 0.058 / 0.85 = 6.58$ кВт,

Номінальну потужність двигуна знаходять як найбільше зі значень по одній з формул:

$$P_{ном} = P_{ск},$$

$$P_{ном} = P_{max} / \psi,$$

де ψ – кратність середнього пускового моменту двигуна для трифазного двигуна з фазовим ротором, $\psi = 1,5$.

$P_{ном} = 6,58$ кВт,

$P_{ном}$= 6.58 /1,5 = 4,386 кВт.

Набуваємо значення номінальної потужності двигуна механізму зміни вильоту: $P_{Ном}$=5 кВт., техначна характеристика якого наведена в табл. 15.

Таблиця 3.14- Технічна характристика двигуна.

Тип	Потуж-ність, кВт	Частота обертання, об/хв	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Струм статора, А	E_p, В	I_p, А	Момент инерції $кгм^2$
МТМ211-6	5,0	920	2,5	13.6	206	16,6	0,115

Розділ 4. Прицинова схема управління

4.1. Принципова схеми управління електроприводом

Принципова схема управління електроприводом вильоту стріли представлена на Рисунок. 4.1.

У нульовому положенні руків'я командоконтролера замкнутий його контакт SA 1.0 і спрацьовує реле напруги KV 1, замикаючи свій контакт KV 1.1, схема управління готова до роботи. У разі спрацьовування теплового реле КК його контакти розімкнутися, реле напруги відключиться і увесь ланцюг управління механізму вильоту стріли відключиться. Для продовження роботи слід поставити рукоять командоконтролера в нульове положення і натискаючи кнопки ручного повернення теплового реле поставити його в робоче положення, реле напруги KV 1 включиться і кран буде готовий до подальшої роботи.

У першому положенні командоконтролера "Виліт більше" замкнуться контакти SA 1.1 і через контакти кінцевих обмежувачів включиться контактор КМ 2, який замкне свої контакти в силовому ланцюзі і подасть

напругу на статор стрілового електродвигуна. Одночасно з цим замкнуться контакти КМ 2.3 контактора КМ 2, внаслідок чого включиться контактор електрогідравлічних загальмовувачів КМ 1. обмотка електрогідравлічного штовхальника М 2 отримає живлення, розімкне колодки гальма і механізм почне працювати.

У другому положенні командоконтролера замнуться його контакти SA 1.2 і SA 1.3 включивши тим самим систему широко-імпульсного регулятора (ШІР).

У положенні командоконтролера "Виліт менше" робота відбувається аналогічним чином, з тією лише різницею, що замість контактора КМ 2 включиться контактор КМ 3 і своїми головними контактами КМ 3.1 перемкне дві фази статора і двигун почне обертатися в інший бік.

Для зупинки двигуна рукоять командоконтролера встановлюють в нульове положення, відключаються контакти КМ 2 і КМ 3, при цьому обмотки статора відключаються від мережі, а конденсатори залишаються підключеними до обмотки статора, що викликає гальмування двигуна.

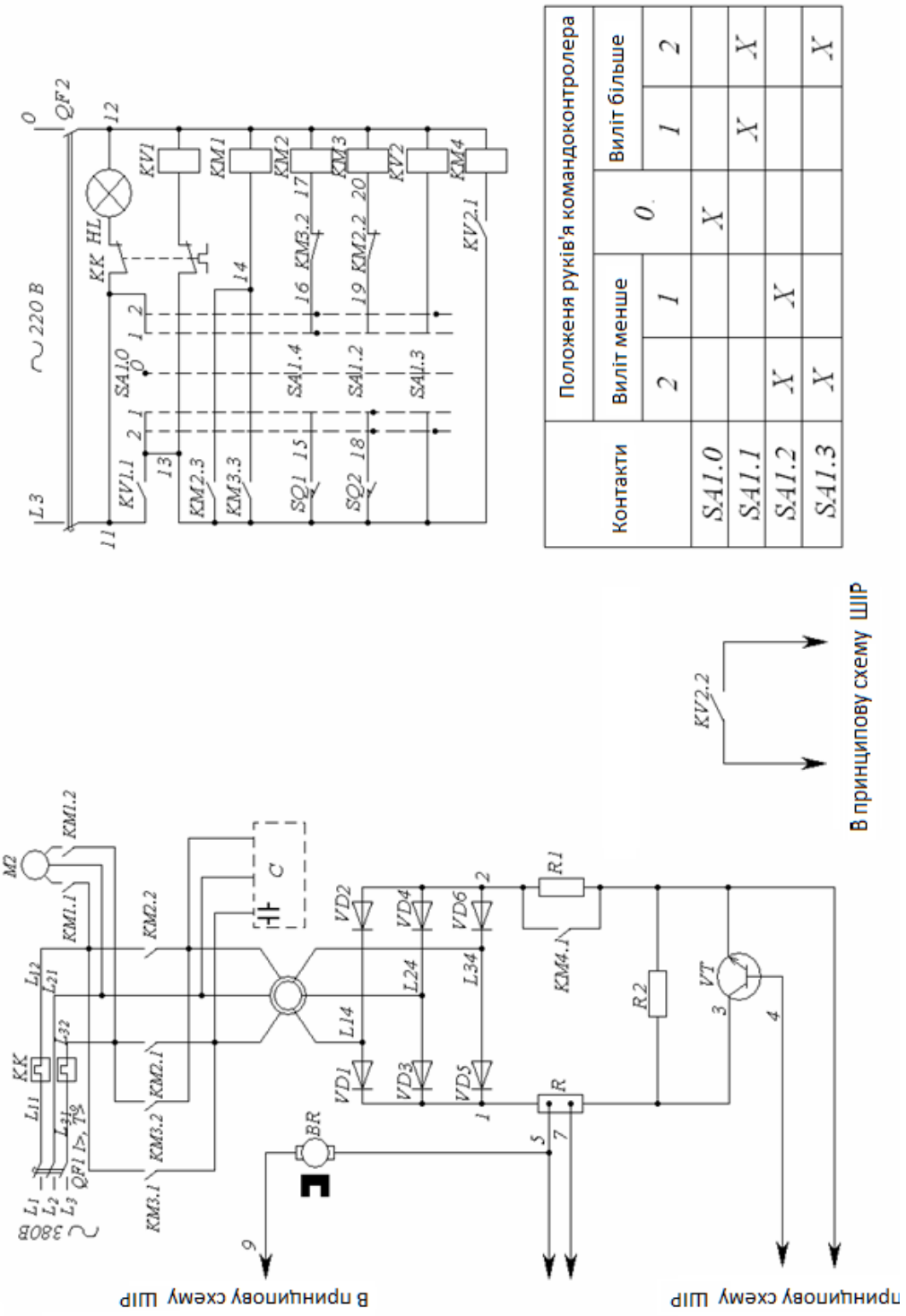


Рисунок. 4.1 - Принципова схема управління електроприводом вильоту стріли

Розділ 5. Дослідження електроприводому на електронній моделі.

5.1. Схема заміщення системи електроприводу

Відповідно до принципової схеми складаємо схему заміщення, яка представлена на Рисунок. .5.1. На цій ссемі показано:

E_{d0} - середня напруга на виході випрямленого моста при розімкненому колі постійного струму і ковзанні S=1;

m - число фаз випрямляча; для трифазної бруківки схеми m=6;

$X_1^{'}$ - індуктивний опір фази статора приведений до ланцюга ротора;

X_2 - індуктивний опір фази статора приведений до ланцюга ротора;

$R_1^{'}$ - активний опір фази статора, приведений до ротора. Коефіцієнт 2 враховує те, що в кожен міжкомутаційний період струм протікає по двох фазах;

S - ковзання асинхронного двигуна;

R_2 - активний опір фази ротора. Коефіцієнт 2 враховує те, що в кожен міжкомутаційний період струм протікає по двох фазах ротора;

$\sum \Delta U_B = 2 \cdot \Delta U_B = 2 \cdot 1{,}2 = 2{,}4B$ - сумарне падіння напруги у вентелях при проходженні прямого струму;

R_{CD} - активний опір згладжуючого дроселя;

X_{CD} - індуктивний опір згладжуючого дроселя;

$R_{2\partial}$ - додатковий активний опір в ланцюзі ротора;

I_d - випрямлений струм, А.

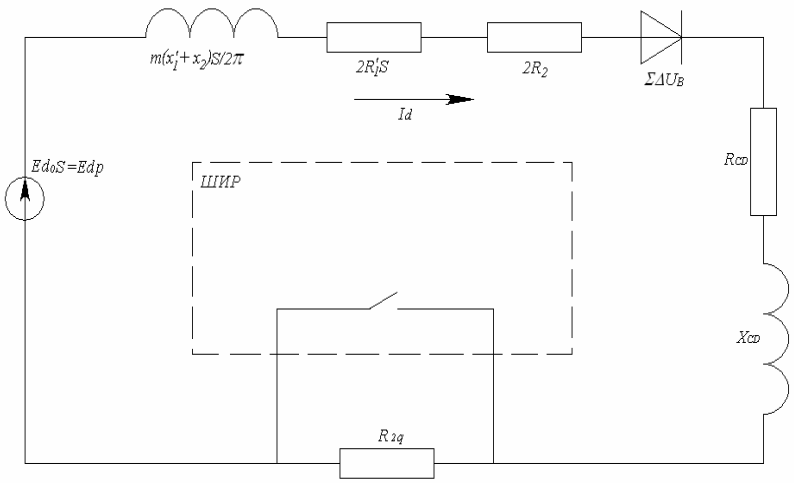


Рисунок. 5.1 - Схема заміщення ланцюгів ротора

5.2. Розрахунок параметрів схеми заміщення

Індуктивний опір фази статора приведений до ланцюга ротора:

$$X_1^э = \frac{X_1}{k_e^2} = \frac{0{,}645}{4{,}2^2} = 0{,}037 Ом$$

где $k_e = 4{,}2$ - коефіцієнт трансформації напруги асинхронного двигуна.

Активний опір статора приведений до ланцюга ротора:

$$R_1^{'} = \frac{R_1}{k_e^2} = \frac{0{,}48}{4{,}2^2} = 0{,}027 Ом$$

Індуктивність однієї фази двигуна:

$$L_{дв} = \frac{X_{дв}}{\omega_{ос}}, \text{ Гн}$$

де $X_{дв} = X_1^э + X_2 = 0{,}037 + 0{,}241 = 0{,}278 Ом$

$\omega_{ос}$ - кутова частота напруги мережі, $с^{-1}$.

$$L_{дв} = \frac{0{,}278}{314} = 0{,}9 \cdot 10^{-3} Гн$$

Індуктивність ланцюга ротора:

$$L_{ц.р.} = 2 \cdot L_{дв} + L_{CD} = 2 \cdot 0{,}0009 + 0{,}0073 = 0{,}0091 Гн$$

Індуктивність згладжуючого дроселя:

$$X_{CD} = \omega_{ос} \cdot L = 314 \cdot 0{,}0073 = 2{,}29 Ом$$

Еквівалентний опір роторного ланцюга:

$$R_э = \frac{m \cdot X_{дв} \cdot S}{2 \cdot \pi} + 2 \cdot R_1' \cdot S + 2 \cdot R_2 + R_{CD} + \frac{m \cdot X_{CD}}{2 \cdot \pi} + R_{2д}$$

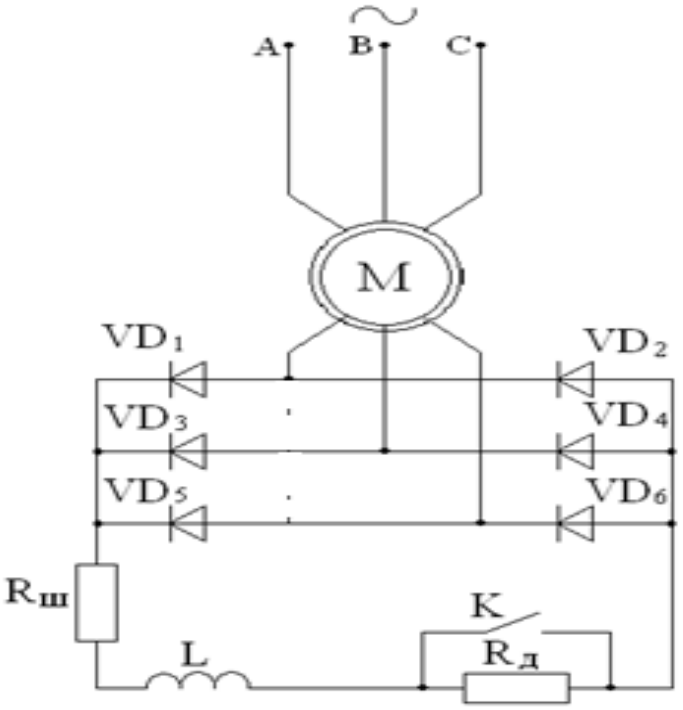
Розраховуємо еквівалентний опір роторного ланцюга для $S = 0{,}05$ і $S = 0{,}8$:

при $S = 0{,}05$, $\delta = 1$, $R_{2д} = 0$ Ом:

$$R_э = \frac{6 \cdot 0{,}278 \cdot 0{,}05}{2 \cdot 3{,}14} + 2 \cdot 0{,}027 \cdot 0{,}05 + 2 \cdot 0{,}111 + 0{,}233 + \frac{6 \cdot 2{,}29}{2 \cdot 3{,}14} = 2{,}659 Ом$$

при $S = 0{,}8$, $\delta = 0$, $R_{2д} = 1{,}06$ Ом:

$$R_э = \frac{6 \cdot 0{,}278 \cdot 0{,}8}{2 \cdot 3{,}14} + 2 \cdot 0{,}027 \cdot 0{,}8 + 2 \cdot 0{,}111 + 0{,}233 + \frac{6 \cdot 2{,}29}{2 \cdot 3{,}14} + 1{,}06 = 3{,}959 Ом$$



Мал.5.2- Принципова схема електроприводу дослідження на електронній моделі.

5.3.Дослідження системи управління електроприводом на електронній моделі.

Дослідження здійснюється відповідно до принципової схеми (Рисунок.5.2.).

На цій схемі позначено: М – трифазний двигун з фазним ротором; VD1…VD6 - діоди трифазнонго випрямляча в колі ротора, що випрямляє трифазну напругу кола ротора; $R_д$

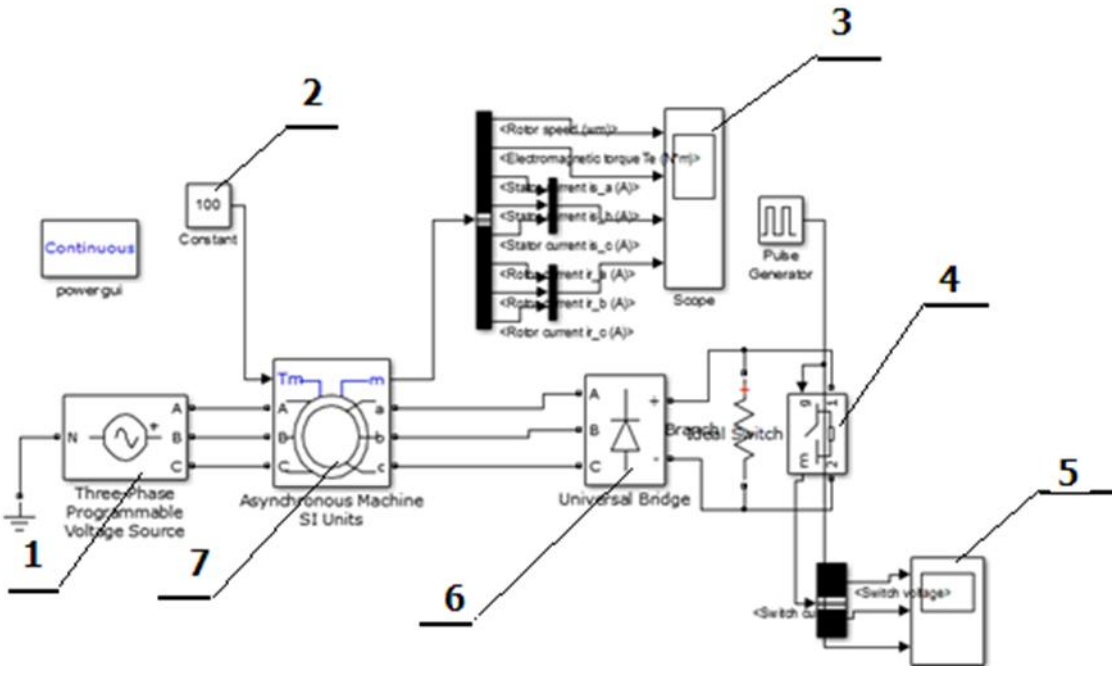
додатковий резистор в колі ротора, яким визначається діапазон регулювання частоти обертання ротора. Контакт К – це вихід широтно-імпульсного регулятора (ШІР) регулювання частоти обертання ротора. Індуктивність L служить для покращання

комутації ШІР. $R_ш$ – це шунт для підкючення амперметра або створеннят зворотнього зв´язку в сиистемі управління.

Відповідно до цієї схеми на Рисунок. 5.3 приведена модель в системі Matlab Simulink.

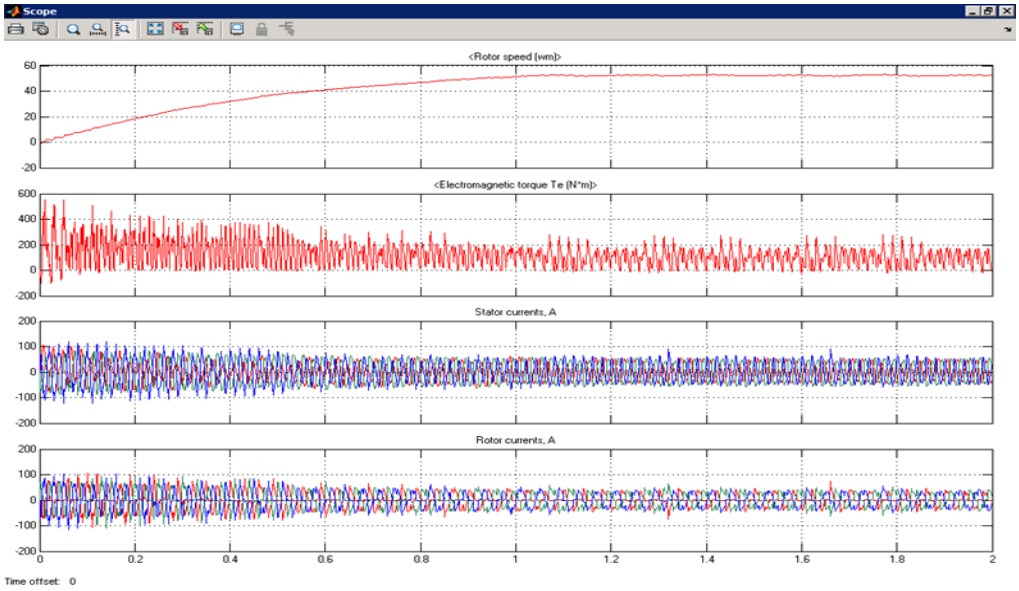
На моделі цифрами позначено: 1 – джерело живлення; 2 – момент навантаження;

3, 5 – осцилографи; 6 – трифазний випрямляч; 7 – трифазний двигун;

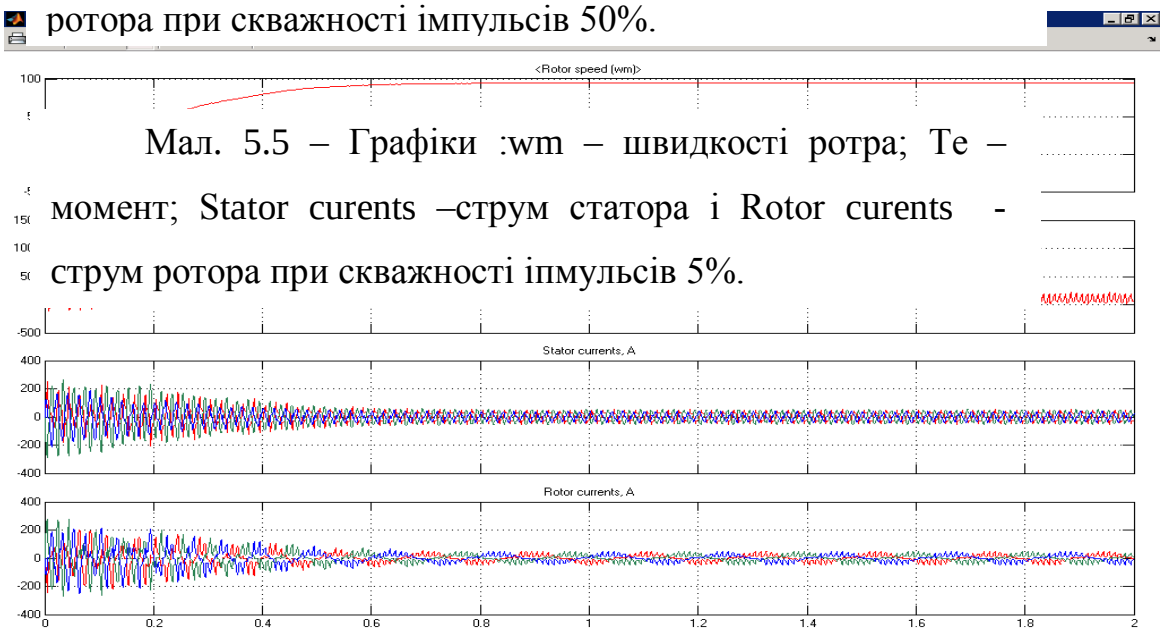


Мал. 5.3 – Модель електроприводу в системі Matlab Simulink.

Результати моделювання навдені на Рисунок 5.4 та Рисунок.5.5. для двох випадків: додатковий резастор $R_{д1} = 5$ Ом і $R_{д1} = 50$ Ом .



Мал. 5.4 – Графіки :wm – швидкості ротра; Te – момент; Stator curents –струм статора і Rotor curents - струм ротора при скважності імпульсів 50%.



Мал. 5.5 – Графіки :wm – швидкості ротра; Te – момент; Stator curents –струм статора і Rotor curents - струм ротора при скважності іпмульсів 5%.

исн

иво

к

Аналіз гафіків показує, що регулювання величини шпаруватості імпульсів широтно-імпульсного регулятора дозволяє регулювати швидкість обертання двигуна. З графіків видно, що зміна шаруватості імпульсів з 5% до 50% змінює швидкість двигуна в два рази.

Таким чином, імпульсне регулювання величини додаткового резистора в колі ротора двигуна забезпечує регулювання швидкості в широкому діапазоні.

6. Економіка

Для остаточного прийняття рішення щодо вибору системи електричного привода здійснимо порівняння розглянутих варіантів згідно критерію приведених витрат:

$$З = Е_н \cdot К + С, \quad (3.1)$$

де $Е_н$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень (приймається 0,17 для всіх галузей промисловості), 1/рік;

К – капітальні вкладення, грн;

С – загальні щорічні відрахування, які враховуються в собівартості продукції (враховуючи і амортизаційні відрахування), грн/рік.

Здійснимо розрахунок для системи ПЧ-АД.

Капітальні вкладення:

$$К = Д + СК, \quad (3.2)$$

де Д – вартість приводного двигуна (Д = 5167 грн);

СК – вартість системи керування (СК = 10778 грн),

$$К = 5167 + 10778 = 15945 \text{ (грн).}$$

Річні капітальні витрати:

$$К_{річні} = Е_н \cdot К, \quad (3.3)$$

$$К_{річні} = 0{,}17 \cdot 15945 = 2710{,}7 \text{ (грн/рік).}$$

Загальні додаткові відрахування:

$$С = С_А + С_Р + С_Д + С_О, \quad (3.4)$$

де C_A – амортизаційні відрахування, грн/рік;

$C_Р$ – відрахування на ремонт, грн/рік;

$C_Д$ – додаткові відрахування, грн/рік;

$C_О$ – відрахування на обслуговування, грн/рік.

Величина амортизаційних відрахувань в середньому приймається 10% від капітальних вкладень:

$$C_A = 0{,}1 \cdot К, \quad (3.5)$$

$$C_A = 0{,}1 \cdot 15945 = 1594{,}5 \text{ (грн/рік).}$$

Відрахування на ремонт електрообладнання приймають в розрахунку 2% від капітальних вкладень: $C_Р = 0{,}02 \cdot К$, (3.6)

$$C_Р = 0{,}02 \cdot 15945 = 318{,}9 \text{ (грн/рік).}$$

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії системі електричного привода у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік:

$$C_Д = C_{Д1} + C_{Д2}, \quad (3.7)$$

де $C_{Д1}$ – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік, грн/рік;

$C_{Д2}$ – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік, грн/рік.

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік:

$$C_{Д1} = \Delta W_{\Sigma дв} \cdot c, \quad (3.8)$$

де $\Delta W_{дв}$ – кількість втраченої електроенергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік, (кВт·год)/рік;

с – вартість для промисловості одного кіловата потужності за годину, грн/(кВт·год) (с = 0,82 грн/(кВт·год)).

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік:

$$\Delta W_{\Sigma дв} = (\Delta P_{ном} + \Delta P_{перех.}) \cdot k_з \cdot \Phi, \quad (3.9)$$

де $\Delta P_{ном}$ – втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи, кВт;$\Delta P_{перех.}$ – додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи, кВт; $k_з$ – коефіцієнт завантаження по потужності (приймають рівним 0,8);Ф – дійсний фонд часу роботи системи електричного привода за рік, год/рік.

Втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи:

$$\Delta P_{ном} = P_{ном} \cdot \frac{1-\eta_{ном}}{\eta_{ном}}, \quad (3.10)$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність електричного двигуна ($P_{ном}$ = 7,5 кВт);

$\eta_{ном}$ – номінальний ККД двигуна ($\eta_{ном}$ = 0,735),

$$\Delta P_{ном} = 7,5 \cdot \frac{1-0,735}{0,735} = 2,7 \text{ (кВт).}$$

Додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи приймають рівними 10% від номінальних:

$$\Delta P_{перех.} = 0,1 \cdot \Delta P_{ном}, \quad (3.11)$$

$$\Delta P_{перех.} = 0,1 \cdot 2,7 = 0,27 \text{ (кВт).}$$

Дійсний фонд часу роботи електричного привода за рік:

$$\Phi = \varepsilon \cdot Z_{р.д.} \cdot Z_{р.з.} \cdot t_{р.з.}, \quad (3.12)$$

де ε – відносна тривалість ввімкнення згідно тахограми (ε = 0,45);

$Z_{р.д.}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{р.д.}$ = 250 1/рік);

$Z_{р.з.}$ – кількість робочих змін ($Z_{р.з.}$ = 3);

$t_{р.з.}$ – тривалість робочої зміни ($t_{р.з.}$ = 8 год),

$$\Phi = 0{,}45 \cdot 250 \cdot 2 \cdot 8 = 2700 \text{ (год/рік).}$$

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи згідно формули (4.9):

$$\Delta W_{\Sigma дв} = (0{,}7 + 0{,}27) \cdot 0{,}8 \cdot 2700 = 6415{,}2 \text{ ((кВт·год)/рік).}$$

Додаткові відрахування згідно формули (3.8):

$$C_{Д1} = 6415{,}2 \cdot 0{,}82 = 5260{,}5 \text{ (грн/рік).}$$

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік:

$$C_{Д2} = \Delta W_{\Sigma ск} \cdot c, \qquad (3.13)$$

де $\Delta W_{ск}$ – кількість втраченої електроенергії в системі керування за рік, (кВт·год)/рік.

В Втрати енергії в системі керування за рік:

$$\Delta W_{\Sigma ск} = \Delta P_{ск} \cdot k_з \cdot \Phi, \qquad (3.14)$$

де $\Delta P_{ск}$ – втрати потужності в системі керування, кВт.

Втрати потужності в системі керування:

$$\Delta P_{ск} = P_{сп} \cdot \frac{1 - \eta_{пп}}{\eta_{пп}}, \qquad (3.15)$$

де $P_{пп}$ – номінальна потужність перетворюючого пристрою ($P_{пп}$ = 7,5 кВт);

$\eta_{пп}$ – номінальний ККД перетворюючого пристрою ($\eta_{пп}$ = 0,98),

$$\Delta P_{ск} = 7{,}5 \cdot \frac{1 - 0{,}98}{0{,}98} = 0{,}1531 \text{ (кВт).}$$

Втрати потужності в системі керування згідно формули (3.14):

$$\Delta W_{\Sigma ск} = 0{,}1531 \cdot 0{,}8 \cdot 2700 = 330{,}6 \text{ ((кВт·год)/рік).}$$

Додаткові відрахування згідно формули (3.13):

$$C_{Д2} = 330{,}6 \cdot 0{,}82 = 271{,}102 \text{ (грн/рік).}$$

Додаткові відрахування згідно формули (3.7):

$$C_{Д} = 5260{,}5 + 271{,}102 = 5531{,}6 \text{ (грн/рік).}$$

Відрахування на обслуговування електрообладнання приймають рівним 5% від суми відрахувань на амортизацію, ремонт та додаткових витрат: $C_{О} = 0{,}05 \cdot (C_{А} + C_{Р} + C_{Д})$, (3.16)

$$C_{О} = 0{,}05 \cdot (594{,}5 + 318{,}9 + 5531{,}6) = 372{,}25 \text{ (грн/рік).}$$

Загальні додаткові відрахування згідно формули (3.4):

$$C = 1594{,}5 + 318{,}9 + 5531{,}6 + 372{,}25 = 7817{,}2 \text{ (грн/рік).}$$

Приведені витрати згідно формули (4.1):
$З = 0{,}17 \cdot 15945 + 7817{,}2 = 10528$ (грн/рік).

Для інших систем електричного привода проведемо аналогічні розрахунки, результати розрахунків зведемо в порівняльну таблицю 6.1.

Таблиця 6. 1– Порівняльна таблиця

Показники	Системи електричного привода				
	РКС-ДПС	РКС-АД з ФР	ПЧ-АД	Імпульсний Ад з ФР	АВК
Вартість двигуна Д, грн	12917	10334	12917	5167	5167
Вартість системи керування СК, грн	5389	5927,9	9700	9700	10778
Капітальні вкладення К, грн	18307	16262	22618	14867	15945
Річні капітальні витрати $К_{річн}$, грн/рік	3112,1	2764,5	3845	2527,4	2710,7

Амортизаційні відрахування C_A, грн/рік	1830,7	1626,2	2261,8	1486,7	1594,5

Продовження таблиці 6.1

Показники	Системи електричного привода				
	РКС-ДПС	РКС-АД з ФР	ПЧ-АД	Імпульсний Ад з ФР	АВК
Відрахування на ремонт C_P, грн/рік	366,13	325,238	452,354	297,344	318,9
Додаткові відрахування $C_Д$, грн/рік	10954	10954	5814	5814	5531,6
Відрахування на обслуговування C_O, грн/рік	657,52	645,25	426,4	379,9	372,25
Загальні відрахування С, грн/рік	13808	13550	8954,5	7977,9	7817,2
Приведені витрати З, грн/рік	16920	16315	12800	10505	10528

Висновок

Здійснено аналіз техніко-економічних показників усіх можливих для використання варіантів систем електричного привода. Як випливає із результатів розрахунків найбільш економічно вигідним є використання систем: Імпульсний Ад з ФР та АВК. Оскільки приведені витрати для них відрізняються менше ніж на 10%, то виберемо систему Імпульсний Ад з ФР.

Список літературних джерел

1. Портальный кран GANZ г/п 5/6 тонн с вылетом стрелы 30 м [: в 5 томах. Том 4 Механические расчёты / ХУНГ ЭКСПО, Будапешт, 1997. – 274 с.

2. Загірняк М. В., Невзлін Б. І. Електричні машини: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і доп. — Київ: Знання, 2009. — 400 с. — ISBN 978-966-346-644-6.

3. Півняк Г. Г. Електричні машини: навч. посіб. / Г. Г. Півняк та ін. – Д.: НГУ, 2003. – 328 с. – ISBN 966-8271-36-X.

4. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник /А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. - М.: Энергоиздат, 1982. – 324 с.

5. Моделювння електромеханічних систем: Підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й., Сисюк Г.Ю., Садовий О.В.– Кременчук, 2001. – 410 с.

6. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – 150 с.

7. Герман-Галкин С.Г. Проектирование механотронных систем на ПК. С.Г. СПб.: Корона, 2008. – 346 с.

8. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів СВО «Бакалавр» спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», галузі знань 14 – «Електрична інженерія» / Укладачі: П.І. Осадчук, В.Ф. Бабіч, А.А. Галіулін, Є.П. Штепа. – Одеса: ОНТУ, 2021. – 55 с.