

О. М. ФІЛІПЦУК

ОСНОВИ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

О. М. ФІЛІПЦУК

ОСНОВИ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

*Методичні вказівки
до виконання курсового проекту*

*з галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»
Спеціальності:*

*174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
Освітньо-професійна програма: «Автоматизоване управління технологічними
об'єктами та комплексами»*

Рекомендовано Методичною радою НУК

ХЕРСОН ♦ НУК ♦ 2024

УДК 629.12.05-52(075)

Ф 91

УКЛАДАЧ:

ФІЛІПЦУК О. М., ст. викладач кафедри автоматики та електроустаткування
Херсонського навчально-наукового інституту НУК

РЕЦЕНЗЕНТ:

МИХАЛЧЕНКО ПАВЛО ЄВГЕНОВИЧ, д.т.н., професор НУК кафедри
автоматики та електроустаткування

Рекомендовано Методичною радою НУК

Філіпчук О. М.

Ф 91 Основи теорії електроприводів : методичні вказівки до виконання курсового проекту для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання освітньо-професійної програми зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» з галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації». – Миколаїв : НУК, 2024. – 109 с.

У представлених методичних вказівках до курсового проектування викладено основні положення щодо виконання курсового проекту з курсу «Основи теорії електроприводів». Викладено методику вибору за потужністю електродвигунів для механізмів повторно-короткочасного режиму роботи, наведено методику розрахунку характеристик електродвигунів при живленні від перетворювачів та від цехової мережі. Розглянуто розрахунок перехідних процесів електроприводу та наведено методику перевірки на нагрівання, переважувальну здатність двигунів і перетворювачів, методику розрахунку енергетичних показників електроприводу. У вказівках наданий стислий опис і порядок виконання роботи, рекомендації по складанню пояснювальної записки та графічної частини.

Навчальне видання призначене для здобувачів ступеня бакалавр за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» за освітньо-професійною програмою: «Автоматизоване управління технологічними об'єктами та комплексами». Методичні вказівки можуть використовуватися здобувачами інших електромеханічних спеціальностей.

УДК 629.12.05-52(075)

© Філіпчук О. М., 2024

© НУК ім. адмірала Макарова, 2024

Вступ

Електропривод застосовується майже у всіх галузях народного господарства, де електрична енергія перетворюється на механічну для приведення в дію робочих машин і механізмів.

Основні загальні завдання основ сучасних електроприводів полягають у з'ясуванні закономірностей, визначення характеристик і робочих режимів електропривода, обґрунтуванні раціонального вибору його елементів, у проектуванні та дослідженні автоматичних (працюють без участі обслуговуючого персоналу) або автоматизованих (працюють з незначною участю обслуговуючого персоналу) електромеханічних систем автоматичного керування [1-6].

У методичних вказівках розглянуто питання проектування електроприводу механізмів повторно-короткочасного циклічного режиму роботи. Вони призначені для здобувачів вищої освіти, які навчаються за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» та можуть бути використані при виконанні курсового проекту з курсу «Основи теорії електроприводів», а також при виконанні кваліфікаційної випускної роботи. Методичні вказівки можуть бути корисним здобувачам інших електромеханічних спеціальностей що вивчають курс "Теорія електроприводу".

Курсовий проект є завершальним етапом у вивченні дисципліни «Основи теорії електроприводів». Мета курсового проекту – є закріплення та поглиблення знань, навичок проектування електроприводів технологічних установок і уміння застосовувати на практиці отримані теоретичні знання, а також систематизація знань шляхом самостійного та під керівництвом викладача, розрахунку характеристик електродвигунів при живленні від перетворювачів та від цехової мережі, перехідних процесів та енергетичних показників електроприводу, застосування методів перевірки на нагрівання, перевантажувальну здатність двигунів і перетворювачів.

У методичних вказівках розглядаються питання вибору двигунів за потужністю та застосування систем керування електроприводами для механізмів, що працюють у повторно-короткочасному режимі роботи. Передбачено варіанти кінематичних схем типових механізмів, що застосовуються у промисловості, а також забезпечується можливість розрахунку електроприводу на вибір здобувача (замовлення підприємства) за підсумками виробничої практики. Пропонується вибір системи електроприводу під час живлення двигунів від мережі постійної напруги або під час живлення від перетворювачів електричної енергії (системи ТП–Д, ПЧ–АД і т.п.).

Застосовуються програми розрахунку перехідних процесів електроприводу на персональному комп'ютері, що дозволяють побудувати навантажувальні діаграми швидкості, моменту, струму двигуна в режимах пуску та гальмування електроприводу, отримати основні показники перехідних режимів (швидкість, максимальні значення координат, значення перерегулювання, коливання тощо), а також інтегральні показники роботи (механічну, активну та реактивну енергії, середньоквадратичне значення струму двигуна та пуско-гальмівних резисторів, кут повороту валу тощо), необхідні для розрахунку енергетичних показників та перевірки двигунів, перетворювачів та пуско-гальмівних резисторів з нагрівання та перевантажувальної здатності.

У цих методичних вказівках всі розділи курсового проекту рівноцінні і взаємопов'язані між собою, отже вивчення кожного наступного розділу можливе лише після засвоєння основних положень попередніх розділів. Зокрема, закріплюються такі розділи теоретичного курсу:

- кінематичні схеми механізмів і машин;
- рівняння руху електропривода, типові статичні навантаження електропривода;
- навантажувальні діаграми робочих механізмів, електроприводів та методи їх побудови.
- механічні та електромеханічні характеристики електродвигунів;
- вибір потужності двигуна для повторно-короткочасного режиму роботи, перерахунок потужності в залежності від тривалості включення;
- електромеханічні, електромагнітні та теплові перехідні процеси і їх взаємозв'язок, методи їх розрахунку;
- показники якості перехідних процесів;
- методика складання диференціальних рівнянь для розрахунку перехідних процесів в лінійних та нелінійних системах електропривода.

Курсовий проект виконується відповідно з індивідуальним завданням та повинний бути переданий викладачеві для перевірки не пізніше, ніж за тиждень до строку захисту. Проект, що задовольняє висунутим вимогам відносно вірності виконаних розрахунків та якості оформлення, може бути допущений до захисту.

Фізичні величини, що використовуються в методичних вказівках

Позначення	Найменування	Одиниця виміру	
		Латинська	Українська
m	маса	kg	кг
F	сила	N	Н
J	момент інерції	kgm ²	кгм ²
M	момент сил	Nm	Нм
l, x	лінійне переміщення	m	м
φ	кутове переміщення	rad	рад
v	лінійна швидкість	m/s	м/с
ω	кутова швидкість	1/s	1/с
a	лінійне прискорення	m/s ²	м/с ²
ζ	кутове прискорення	1/s ²	1/с ²
R, ρ	ривок	m/s ³ , 1/s ³	м/с ³ , 1/с ³
S	повна потужність	VA	В
P	активна потужність	W	А
Q	реактивна потужність	VAr	ВАр
E	електрорушійна сила	V	В
U	електрична напруга	V	В
I	сила електричного струму	A	А
R	електричний активний опір	Ohm	Ом
X	електричний реактивний опір	Ohm	Ом
Z	електричний повний опір	Ohm	Ом
ρ	питомий електричний опір	Ohm·mm ² /m	Ом·мм ² /м
j	припустима густина електричного струму	A/m ²	А/м ²
L	індуктивність	H	Гн
f	частота електричного струму	Hz	Гц
ω	кутова частота електричного струму	rad/s	рад/с
Φ	магнітний потік	Vbr	Вб
η	ККД	-, (%)	-, (%)
s	ковзання	-, (%)	-, (%)
n	частота обертання	r.p.m	Об/хв
$\cos \varphi$	коефіцієнт потужності	-, (%)	-, (%)

1. ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ НАД КУРСОВИМ ПРОЕКТОМ

Завдання на курсовий проект видається здобувачу у день початку курсового проектування. Завданням передбачається вирішення основних питань проектування електроприводу для конкретної робочої машини із зазначеними (у призначеному номері варіанта) конструктивними та технологічними параметрами.

При виконанні проекту доцільно використати ці вказівки та інші методичні посібники, випущені кафедрою, літературу, представлену у п.17, а також літературу з окремих питань проекту, рекомендовану викладачами.

Пояснювальна записка та графічна частина курсового проекту мають бути оформлені відповідно до правил Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД) та стандарту підприємства.

Закінчений курсовий проект після перевірки його викладачем-керівником проекту та виправлення зазначених недоліків захищається у комісії з викладачів кафедри. Захист проектів проводиться за заздалегідь оголошеним розкладом. На захисті курсового проекту здобувач робить доповідь, в якій мають бути:

- сформульовано тему проекту та коротко обумовлено вихідні технічні дані;

- викладено основні прийняті технічні рішення (род струму та тип електроприводу, типи двигуна та перетворювача, схеми включення, способи пуску, гальмування, регулювання швидкості, статичні та динамічні характеристики електроприводу тощо);

- вказані (у стислій формі, без розкриття деталей) застосовані методи розрахунків, у т.ч. розрахунків на ПЕОМ;

- представлені висновки щодо роботи, що відображають якою мірою у розробленому проекті забезпечено виконання заданих технічних вимог.

Доповідь розраховується на 4...5 хв. Основні положення доповіді повинні ілюструватись схемами та графіками, представленими на кресленнях.

При оцінці курсового проекту комісією береться до уваги обґрунтованість прийнятих у проекті рішень, глибина опрацювання основних питань, якість оформлення пояснювальної записки та графічної частини проекту, якість доповіді щодо роботи, правильність та повнота відповідей на запитання, задані членами комісії у процесі захисту проекту.

2. ЗМІСТ І ОБСЯГ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Курсовий проект включає наступні розділи;

- вступ;
- опис робочої машини та її технологічного процесу;
- вихідні дані для проектування електроприводу;
- розрахунок моментів статичних опорів та попередній розрахунок потужності електродвигуна;
- обґрунтування вибору роду струму та типу електроприводу;
- вибір електродвигуна;
- визначення передавального числа та вибір редуктора;
- розрахунок наведених статичних моментів, моментів інерції та коефіцієнта жорсткості системи електропривод – робоча машина.
- попередня перевірка двигуна з нагрівання та продуктивності;
- вибір перетворювача (або станції керування);
- складання функціональної/структурної схеми електроприводу та розрахунок її параметрів;
- розрахунок статичних характеристик електроприводу;
- розрахунок перехідних процесів та побудова навантажувальних діаграм електроприводу;
- перевірка електроприводу за продуктивністю; перевірка двигуна та перетворювача по нагріванню та перевантажувальній здатності.
- розрахунок енергетичних показників електроприводу;
- вибір пускових та гальмівних резисторів та перевірка їх по нагріванню;
- опис роботи системи управління електроприводом;
- висновок;
- основні результати проекту та висновки щодо роботи.

Проект складається з пояснювальної записки та графічної частини.

Робота представляється до захисту у формі розрахунково-пояснювальної записки на аркушах формату А4 (розмір 210 x 297 мм) з полями шириною 25 мм ліворуч і 10 мм праворуч, а також зі штампом установленого зразка. У пояснювальній записці повинні бути представлені вихідні дані для проектування, включаючи кінематичну схему механізму, дано обґрунтування всіх прийнятих рішень, вказано методи розрахунків, наведено всі розрахункові формули та результати розрахунків. Пояснення і описи даються коротко та ясно з посиланням на відповідні формули, таблиці, рисунки, літературні джерела. Не допускається скорочення слів за винятком загальноприйнятих, наприклад: ЕРС, ККД.

Розрахункові формули записуються в буквеному вигляді і потім окремим рядком у цифрах. Після кінцевого результату вказують одиницю виміру. Результати повторюваних розрахунків, включаючи проміжні обчислення, представляються в табличній формі.

При використанні ПЕОМ обов'язково наводяться дані, введені в машину. Результати розрахунків перехідних процесів мають бути представлені у вигляді графіків та діаграм. Результати розрахунку інтегральних показників зводяться в таблиці, виходячи з яких виконується аналіз і сформулюються висновки по проекту.

Усі сторінки записки, формули, таблиці, рисунки і графіки нумеруються. Таблиці, рисунки та графіки, крім цього, забезпечуються коротким змістовним підписом.

Список використаних джерел складають за зразком бібліографії, що відповідає діючому стандарту.

Графічна частина проекту виконується у комп'ютерному вигляді, або вручну на 2 аркушах креслярського папера формату А1 відповідно до заданих електроприводів робочих механізмів підйомно-транспортної машини. Одна половина креслення (формат А2) відводиться для креслення кінематичних та функціональних схем електроприводів (системи електроприводу, з'єднання пускових та гальмівних резисторів тощо). На другій половині (А2) наводиться графічний матеріал теоретичної частини (ТЧ) (статичні та динамічні характеристики електроприводу, діаграми навантаження електроприводу, енергетичні характеристики електроприводу).

У разі потреби за погодженням з викладачем – керівником проекту зміст проекту та обсяг графічної частини можуть бути змінені.

3. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ

Об'єктом для проектування електроприводу є механізм з повторно-короткочасним режимом роботи (механізм підйому крана, механізм руху візка або моста крана, механізм повороту крана тощо). Навантаження механізму змінюється протягом циклу, включає розгін до робочої швидкості, виконання роботи на цій швидкості, гальмування або реверс і повернення на підвищеній швидкості у вихідне положення. У процесі роботи механізму виникає необхідність регулювання швидкості та моменту, обмеження граничних значень моменту, обмеження прискорення робочого органу. Виникають режими накидання та скидання навантаження.

Вихідними даними для проектування електроприводу є:

- кінематична схема робочого органу із зазначенням динамічних мас і зусиль (моментів) опору руху, що обертаються і поступово рухаються;

- швидкості руху робочого органу при різному завантаженні з відхиленнями від заданого значення;

- допустимі значення прискорення робочого органу за умовами механічної міцності або умовами технологічного процесу;

- час роботи для виконання технологічної операції та число циклів на годину;

1. лінійне переміщення (або кут повороту валу) робочого органу (РО);

2. лінійні (або граничні) жорсткості сполучних валів РО;

3. система електропостачання ділянки (цеху), у якому працює механізм;

4. умови довкілля (затриманість, вентиляція, волога тощо).

У практиці курсового проектування кафедри автоматики та електрообладнання ХННІ НУК варіант механізму проектування електроприводу здобувачі вищої освіти обирають під час виробничої практики на підприємствах регіону після третього курсу. Там же збираються вихідні дані для проектування.

4. ОПИС РОБОЧОЇ МАШИНИ І ЇЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

На початковому етапі проектування електроприводу вивчається місце робочої машини у технологічному процесі, її основні функції та завдання. З цього вивчення сформулюються вимоги до робочої машини з боку технології.

Принцип дії робочої машини або її робочого органу вивчається за кінематичною схемою, в якій зазвичай наводяться обертові і поступово динамічні маси, що рухаються, і простежуються шляхи передачі потужності від приводного валу робочої машини до її вихідного органу [1-7]. У кінематичній схемі видно ділянки виділення втрат енергії (підшипники, підп'ятники, переміщення тіл по площинах і т.п.), види передач (шестерні, клинопасові, ланцюгові тощо), довгі вали як елементи пружних зв'язків та пружні муфти.

На підставі вивчення принципу дії робочої машини складаються рівняння руху робочої машини, визначаються вимоги до електроприводу робочої машини, що включають діапазон регулювання швидкості, точність підтримки швидкості, моменту, прискорення при пуску і гальмуванні, необхідність реверсу та ін.

При вивченні робочої машини широко використовується технічна література з галузей промисловості.

4.1. Мостові крани. Мостові крани є одними з найбільш поширених та призначені для обслуговування технологічних вантажопотоків, виконання вантажно-розвантажувальних транспортних операцій у цехах промислових підприємств, на монтажних контейнерних майданчиках, у відкритих та закритих складах. Крани переміщуються рейковими коліями, розташованими на значній висоті від підлоги цеху, займають мало корисного простору і забезпечують обслуговування майже всієї його площі. У деяких випадках мостові крани розташовують на естакадах. Основні параметри та розміри мостових кранів вибирають за ДСТУ 6711-70. Вантажопідйомність до 1000 т; прольоти кранів 2...34 м; швидкості підйому вантажу до 1 м/с (60 м/хв), швидкості руху кранового візка 0,17...0,83 м/с (10...50 м/хв), швидкості руху моста 0,6...2,5 м/с (40...150 м/хв) [8-10].

Мостові крани комплектують із уніфікованих вузлів. Вони бувають з одним і двома візками. Залежно від конструкції моста крани ділять на одно- та двобалочні.

Одnobалочні мостові крани останнім часом набули широкого поширення. Їх виготовляють вантажопідйомністю 0,25...100 т з електроталлю або спеціальними візками з одним та двома підйомами.

Одnobалочні крани мають менші розміри (по ширині) та масу (на 10...15%) порівняно з двобалочними. Зниження маси металоконструкції одnobалочного крана особливо відчутне при великих прольотах, які сягають 40 м.

Схема одnobалочного мостового крана з електроталлю показано на рис. 4.1 [8]. Електроталь 3 пересувається по нижньому поясу головної балки 1 двотаврового перерізу, яка кінцевими балками 5 з ходовими колесами 6 спирається на підкранові колії. Механізм 4 руху крана роздільний з фланцевими двигунами, що має перевагу перед іншими конструкціями з валом трансмісійним вздовж моста. Підведення енергії до електродвигунів механізму руху крана здійснюється троплями, а до електродвигунів талі - гнучким кабелем.

Двобалкові мостові крани знаходять найбільше поширення для всіх вантажопідйомностей. Залежно від призначення на мостовому крані встановлюють вантажні візки з одним та двома механізмами підйому різної підйомної сили.

Двобалковий мостовий кран загального призначення (рис. 4.2) складається з двох головних балок 2, по яких пересувається вантажний візок 1 [8]. Головні балки прикріплені до кінцевих балок 6, що спираються через ходові колеса 5 на рейки, покладені на підкранові балки. Рухається кран двома роздільними механізмами 4. Електричний струм до крана підводиться головними троплями, протягнутими вздовж прольоту цеху з протилежної від кабіни сторони, до візка

крана струм подається гнучким кабелем 7. Керується кран з кабіни 3. Міст крана виготовляють із суцільних із сталі різних профілів.

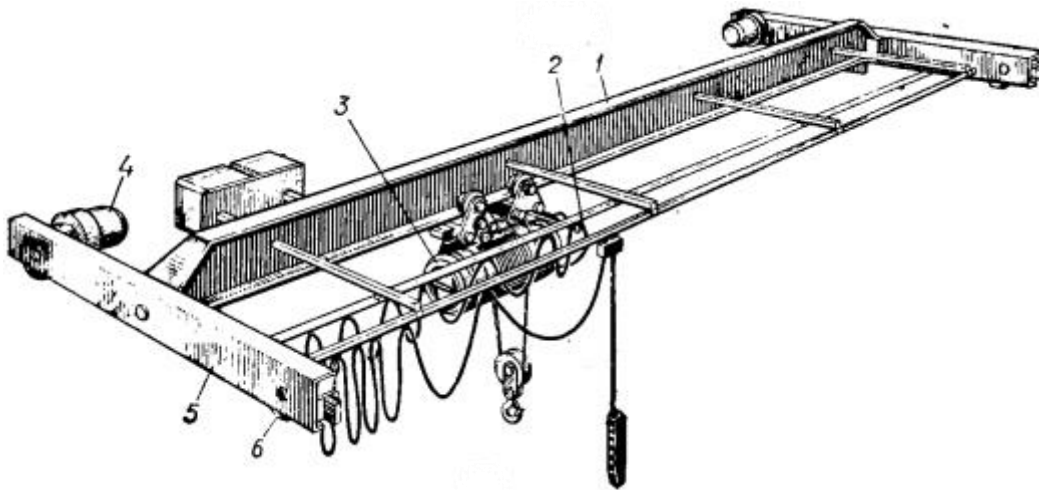


Рис. 4.1 - Однобалочний мостовий кран

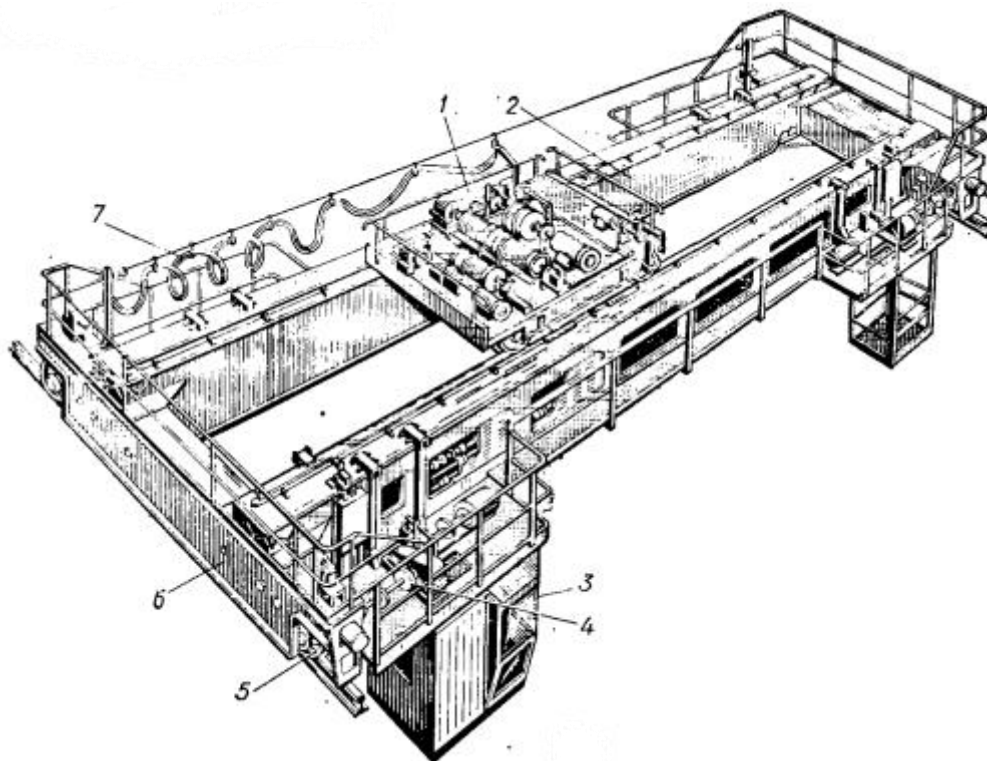


Рис. 4.2 - Двобалочний мостовий кран

За конструкцією кранові візки бувають одно- та двобарабанні. Візок (рис. 4.3) складається із зварної металевої рами 2 на ходових колесах, на якій змонтовані механізми підйому 1 вантажу та руху 3 візка [8].

Рама зварена з поздовжніх та поперечних балок з листової сталі; зверху накрита настилом. З метою зниження маси візка та підвищення його жорсткості застосовують гнуті профілі. Вузли механізмів змонтовані так, що на поздовжні балки спираються підшипники валу барабана, редуктор та двигун механізму підйому. Механізм пересування встановлений посередині між ходовими колесами або збоку візка – для зручності монтажу та заміни вертикального редуктора. При конструюванні візків прагнуть до того, щоб її центр тяжіння наближався до геометричного центру; при цьому виконується дуже важлива вимога рівномірного розподілу навантаження на колеса ходові.

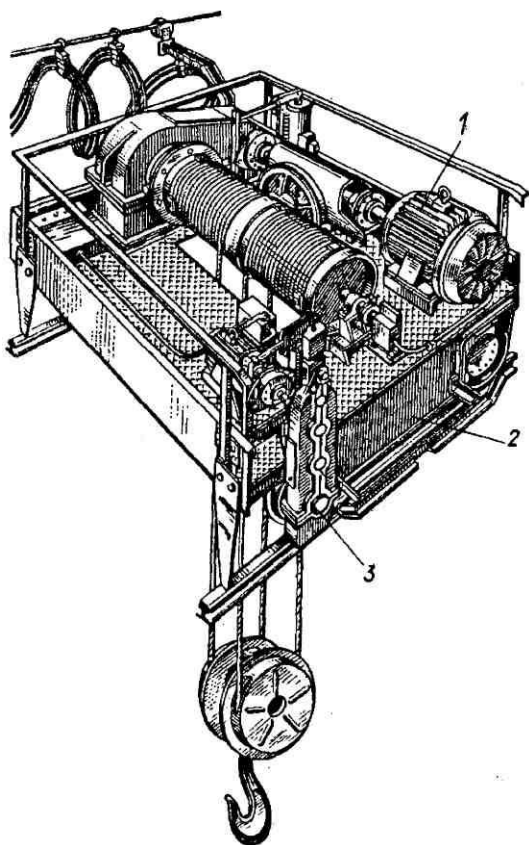


Рис. 4.3 – Крановий візок

Однак з метою створення максимальної зчіпної ваги та виключення пробуксовок коліс центр ваги візка доцільно змістити у бік осі приводних коліс. Розташування механізмів має бути зручним для доступу та обслуговування; візки з обох боків огорожені перилами. При проектуванні слід мати на увазі, що ширина кранового візка залежить від довжини барабана, а нормальний ряд розмірів колії, в якій повинні вписуватися всі візки, стандартизовано: 1400, 2000 та 2500 мм.

У механізмі підйому застосовують двоступінчасті горизонтальні циліндричні редуктори типу Ц-2, ГК, редуктори з планетарними передачами.

У механізмі руху візка застосовують вертикальні редуктори типу ВК і ВКН (бічні).

Як муфти найбільше застосування в кранах отримали зубчасті муфти типу МЗ, МЗП, що володіють хорошими компенсуючими властивостями, достатньою податливістю і надійністю роботи.

4.2. Козлові крани. Козлові крани (рис. 4.4, а) відрізняються від мостових тим, що їхній міст встановлений на дві високі вертикальні ферми («козли»), які спираються ходовими колесами на рейки, покладені на одному рівні — рівні підлоги чи різних — одна ферма на естакаді чи рівні пропонованої будови. Призначені в основному для вантажно-розвантажувальних та монтажних робіт на відкритих майданчиках, а також для спеціальних робіт — обслуговування гідротехнічних споруд, збирання суден та ін. Крани бувають безконсольними, одно- та двоконсольними та можуть перекривати залізничні колії, автомобільні проїзди та площі складів.

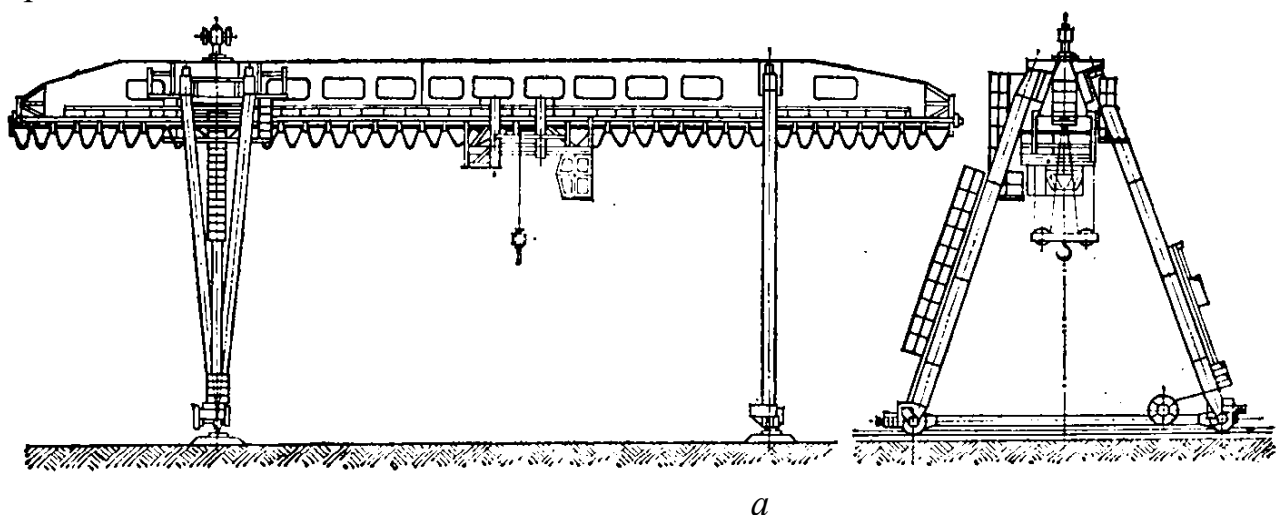


Рис. 4.4 - Козловий кран (а) та кінематичні схеми механізмів руху вантажних візків (б)

Козлові крани загального призначення широко використовуються на залізничному транспорті при завантаженні та вивантаженні контейнерів штучних та насипних вантажів, лісових та інших будівельних матеріалів.

Козлові крани загального призначення випускають вантажопідйомністю 5...50 т; спеціальні крани до 500...2000 т. Проліт кранів сягає 140 м, висота підйому — до 80 м; швидкість руху візка – до 10 м/с [8].

Всі типи козових кранів можна класифікувати за характером вантажопідйомних органів, конструкції кранової будови, способом руху вантажних візків, методом монтажу та демонтажу. За типом спирання моста крани можуть бути з обома жорсткими або з однією жорсткою та іншою гнучкою опорами.

Мост крана з вертикальними фермами кріпиться двома способами: 1) із просторовою фермою – жорстко, з плоскою – шарнірно; 2) з просторовою фермою – за допомогою опори ковзання, що допускає поворот моста щодо штиря, з плоскою – за допомогою сферичного шарніра. Такі конструкції опор допускають деяке кутове переміщення моста при перекосах і нахилі однієї з опор від подовження температурного моста або деформації підкранового шляху, а також виключають вигин моста при забіганні однієї з опор.

Крани великих прольотів обладнують обмежувачами перекоосу для запобігання неприпустимим великим кутовим переміщенням моста.

Металеві конструкції кранів бувають наступних видів: формені (з труб або профілів) та мостові (суцільні та з одиночних труб великого діаметру). Основний матеріал - звичайна та низьколегована сталь.

За типом приводу вантажні візки козових кранів бувають самохідні звичайної конструкції і виносні з канатним або ланцюговим приводом, що мають меншу (в 1,5...2 рази) масу і простішу конструкцію. Останні мають малий термін служби каната, тому їх застосовують для невеликих вантажопідйомностей.

Кабіни в кранах розташовують на жорсткій опорі (при прольотах до 25 м) або на візку, що переміщується.

Механізм руху кранів сучасних конструкцій виконують лише з роздільним приводом, розміщеним на ходовій частині опори. Електрична схема керування забезпечує синхронність роботи приводів.

Вертикальні ферми крана спираються на ходові візки через балансири для рівномірного розподілу навантажень на колеса. Ходові візки виконують у вигляді окремих монтажних вузлів з різними кінематичними схемами механізмів руху (рис. 4.4, б). Друга схема має переваги перед першою, тому що немає відкритої зубчастої передачі. У двоколісних балансірних візках застосовується третя схема.

Кранові ходові колеса по конструкції поділяються на дворебордні (найпоширеніші), одноребордні та безребордні; за формою поверхні - на циліндричні, конічні і бочкоподібні. Реборди ходових коліс служать напряму

руху крана, запобігання сходу коліс, вони сприймають горизонтальні поперечні сили під час руху крана. Під дією поперечних сил відбувається ковзання реборд по рейках.

Ходові колеса з циліндричною поверхнею катання найчастіше виходять з ладу через знос реборд в результаті перекосу крана через несинхронну роботу роздільних приводів, нерівномірного гальмування крана, дефектів виготовлення і монтажу підкранових шляхів і ходової частини та інших причин.

Колеса з конічним ободом (ухил 1:20) встановлюють як приводні з вершинами конусів поза прольотом. Перевагою їх є самоцентрування ходу мосту, відсутність перекосів, більший термін служби.

Самоцентрування або вирівнювання ходу моста на конічних колесах відбувається автоматично: якщо з будь-якої причини одна сторона крана відстала, то приводні колеса переходять на більший діаметр, окружна швидкість, що котить, підвищується і положення крана вирівнюється, не створюючи додаткових бічних зусиль реборд на рейки та виключаючи їх знос. Конічні колеса звичайної конструкції дають найбільший ефект для мостових кранів із центральним приводом при невеликих прольотах; із збільшенням прольоту ефект стабілізації руху крана знижується. У цьому зв'язку для підвищення довговічності кранових коліс запропоновано низку конструктивних заходів: підвищення конусності коліс до 1:10 і більше; застосування поверхні катання колеса зі змінною конусністю, яка з наближенням до реборди збільшується.

Конструктивне виконання механізмів руху кранів може бути різним. Привід від двигуна здійснюється через вал із зубчастими муфтами; через карданний вал (для балансирів); за допомогою блок-приводу, що поєднує двигун, гальмо та редуктор в один блок.

У візку зазвичай 4 і 8 коліс, а за великої вантажопідйомності 16.

Для забезпечення статично визначальних ходових систем та рівномірного навантаження коліс застосовують балансирні візки, конструкція яких дана на рис. 4.5 [8-10]. Ходові колеса 7 встановлені в двобалансирних візках 10, 11, з'єднаних з головним балансиром 2 шарнірами 12. До останнього за допомогою шарніра 1 кріпиться одна зі сторін крана. Привід балансирного візка індивідуальний, що складається з двигуна 5, редукторів 4, 3 зубчастої передачі 6, що передає обертання двом ходовим колесам за допомогою зубчастих коліс 7, 8, 9.

Синхронність руху окремих приводів механізмів незалежно від їх навантаження досягається за допомогою схеми керування. Для плавного гальмування застосовують гальма з електрогідроштовхачами, електромагнітні

порошкові гальма, що унеможлиблює появу великих динамічних навантажень і перекосів крана

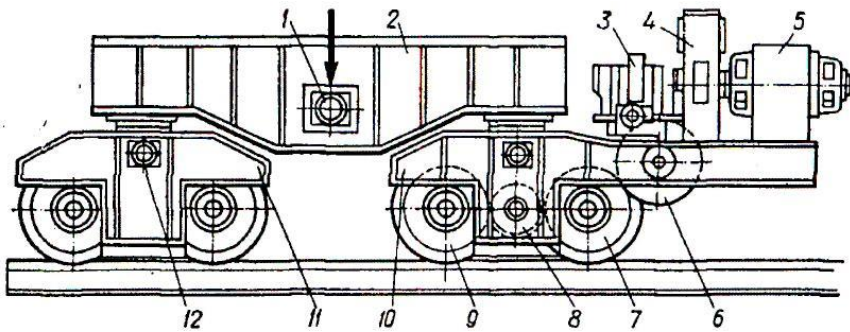


Рис. 4.5 - Балансирний візок

4.3 Баштові крани. Баштові крани відносяться до пересувних стрілових кранів і є Г-подібні з вільно стоячими поворотними конструкціями, у яких стріли прикріплені до верхньої частини. Вони є найпоширенішими вантажопідйомними машинами, що застосовуються у промисловому, гідротехнічному, енергетичному та цивільному будівництві, на відкритих складах, полігонах та при будівництві суден.

Вантажопідйомність баштових кранів коливається у межах (1...80 т); максимальний виліт - до 45 м, висота підйому вантажу - 5...150 м, частота обертання - 0,2...7 об/хв [8].

Преваги баштових кранів: велика висота підйому, що дає великий підстріловий простір; можливість обслуговування кількох об'єктів чи майданчиків з однієї стоянки, висока маневреність; простота переміщення крана підкрановими шляхами; гарний огляд майданчика кранівником; простота конструкції. Вони дозволяють механізувати підйомно-транспортні операції під час будівництва будинків на 98%.

До недоліків слід віднести значну тривалість та трудомісткість монтажно-демонтажних робіт, перебазування та влаштування підкранових шляхів.

Баштові крани (рис. 4.6) класифікуються за такими ознаками [8]:

за типом стріл - з підйомною 1, з балочною 2, з шарнірно-зчленованою стрілою 3;

за типом веж - з неповоротною вежею 4, з поворотним оголовком 5; з поворотною вежею на порталі 6;

за способом урівноважування - з врівноважуванням стріли 7, з врівноважуванням вантажу 8, з врівноважуванням крана 9;

за способом встановлення - стаціонарний 10, самопідйомний 11, пересувний 12;

за типом ходового обладнання - рейкові, автомобільні, пневмоколісні, гусеничні та крокуючі.

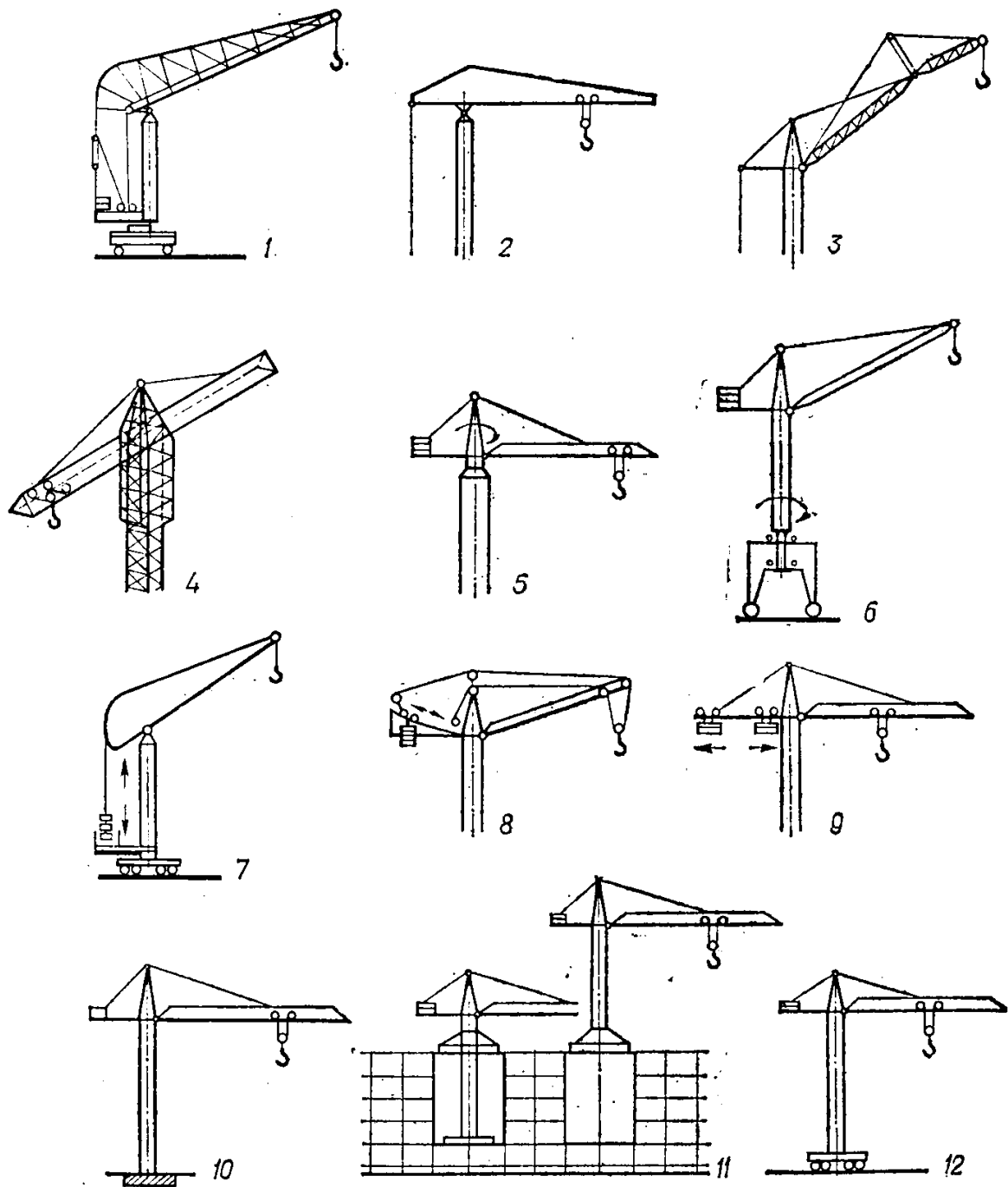


Рис. 4.6 – Різновиди баштових кранів

Металоконструкції кранів виготовляють трубчастими та ґратчастими. Для зниження маси стріли її виконують ґратчастою зі змінним перетином. Виліт гака змінюється двома способами - нахилом стріли і пересуванням каретки горизонтальною стрілою. Крани бувають з нижнім та верхнім розташуванням протизваги. Баштові крани з поворотною баштою та нижнім розташуванням протизваги мають переваги перед кранами з верхнім розташуванням протизваги: протизвагу і всі механізми, розташовані внизу, підвищують стійкість крана; кран

сприймає менші вітрові навантаження; дає зниження маси крана; зручність монтажу (своїм поліспастом без спеціальних пристроїв), умов обслуговування та транспортування.

Лебідки баштових кранів виконують одно або багатошвидкісними, з електричним та гідравлічним приводом. Механізми повороту бувають із звичайним, планетарним та хвильовим редукторами.

На рис. 4.7, *a* зображений баштовий кран з гратчастою металоконструкцією. Башта *1* кріпиться до поворотної платформи *7*, що спирається за допомогою роликової або кулькової опори *3* на поворотну кільцеву раму *4* через шарнірні кронштейни *5* [8]. Останні спираються на приводні і непривідні ходові візки *6*. На поворотній платформі *7* встановлені протियाги *8*, механізми лебідки *2* (підйому вантажу та підйому стріли) та механізм обертання крана.

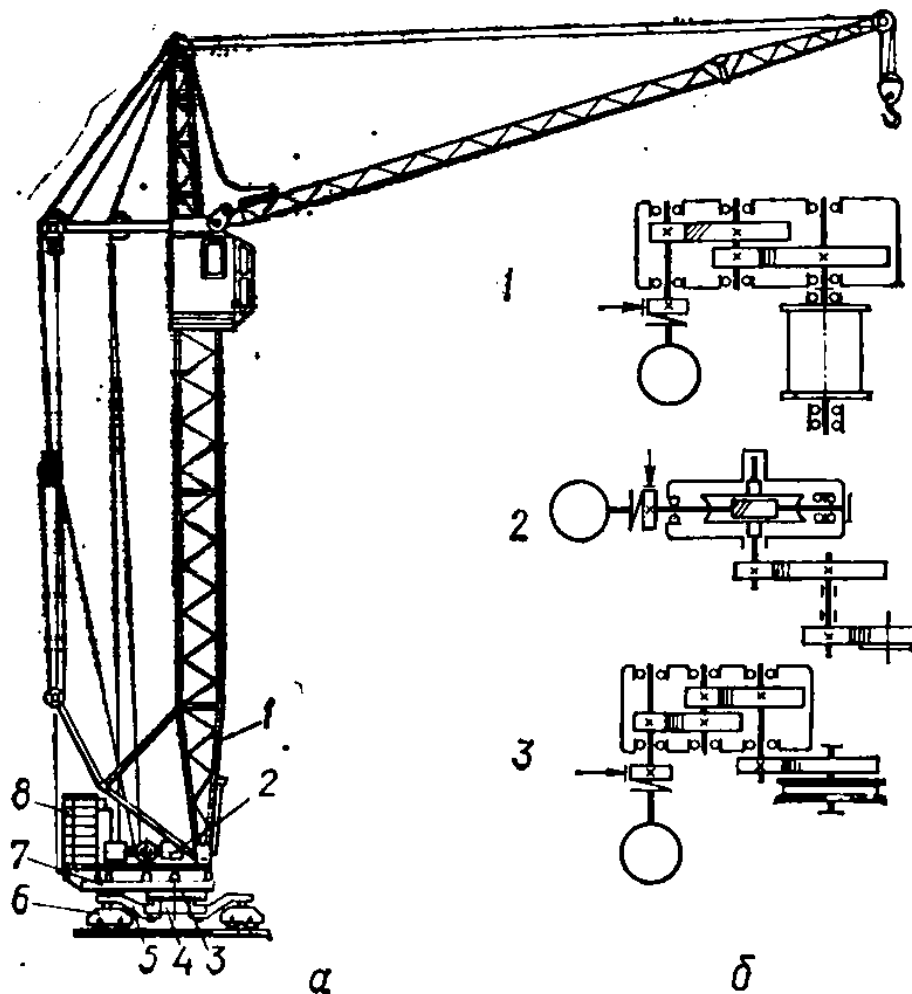


Рис. 4.7 - Баштовий кран (*a*) та кінематичні схеми механізмів (*б*)

У верхній частині вежі шарнірно прикріплено консольну розпірку з блоками, стрілу та кабінку. Нижнє розташування протियाги та механізмів сприяє

зниженню загального центру тяжкості крана, зниженню зусиль, що сприймаються баштою, а отже, зменшенню маси крана та збільшенню його стійкості. Така конструкція дозволяє значно знизити трудомісткість монтажних робіт, що дуже важливо для кранів, що застосовуються у будівництві.

На рис. 4.7, б наведені кінематичні схеми механізмів підйому 1, обертання 2 і пересування крана 3. Механізм підйому стріли аналогічний механізму 1.

Для плавного регулювання швидкості в широких межах деяких кранах встановлюють електропривод постійного струму від тиристорного перетворювача.

4.4 Електроприводи механізмів підйому вантажу підйомних кранів.

Механізми підйому встановлюються всіх вантажопідйомних машинах. Їх конструкція та методи розрахунку характерні не тільки для кранів загального, але і для машин спеціального призначення.

Механізми підйому служать вертикального переміщення вантажу. Їх можна розділити на два основні типи: 1) з жорсткою кінематичною схемою - канатним або ланцюговим приводом, ходовим гвинтом або зубчастою рейкою; 2) з фрикційним приводом - канатоведучим шківом (застосовується тільки в підйомниках).

За типом та кількістю двигунів приводи бувають електричні (основний привід) одно- та дворухові та гідравлічні.

За типом передач механізми підйому бувають: з циліндричним, планетарними хвильовими редукторами (останні поки що не знайшли належного застосування). Черв'якові передачі в механізмах підйому встановлюють рідко через низький к. п. д. і підвищений зношування.

Кінематична схема механізму підйому з гаковою підвіскою показана на рис. 4.8 а. Електродвигун 1 з'єднаний з циліндричним редуктором 4 і 5 барабаном за допомогою муфт 2, 3; напівмуфта 3 з боку редуктора виконана з гальмівним шківом, на якому встановлено колодкове гальмо [8]. Редуктори можуть виконуватися з валами по обидва боки для різного компонування механізмів підйому. На барабан намотується канат поліспасти 6 з вантажозахоплювальним пристроєм 7.

Кінематична схема механізму підйому з вантажним електромагнітом 8 відрізняється від звичайної наявністю додаткового барабана 9 для намотування і змотування струмопідвідного кабелю при підйомі та опусканні вантажу (рис. 4.8, б). Привід цього барабана може здійснюватися від барабана канатного за допомогою зубчастої або ланцюгової передач, а також від окремого приводу.

Внаслідок різних швидкостей намотування гілок каната і кабелю передавальне число передачі між 10 барабанами буде рівним

$$u = \frac{\omega_6}{\omega_k}, \quad (4.1)$$

де ω_6 , ω_k - кутові швидкості обертання відповідно канатного та кабельного барабанів;

$$\omega_6 = \frac{v_1 \cdot u}{D/2}, \quad (4.2)$$

v_1 - швидкість підйому вантажу, м/с; $u_{\text{п}}$ - передатне число поліпасти;

$$\omega_k = \frac{v_1}{D/2}, \quad (4.3)$$

D , D_k - діаметри канатного та кабельного барабанів.

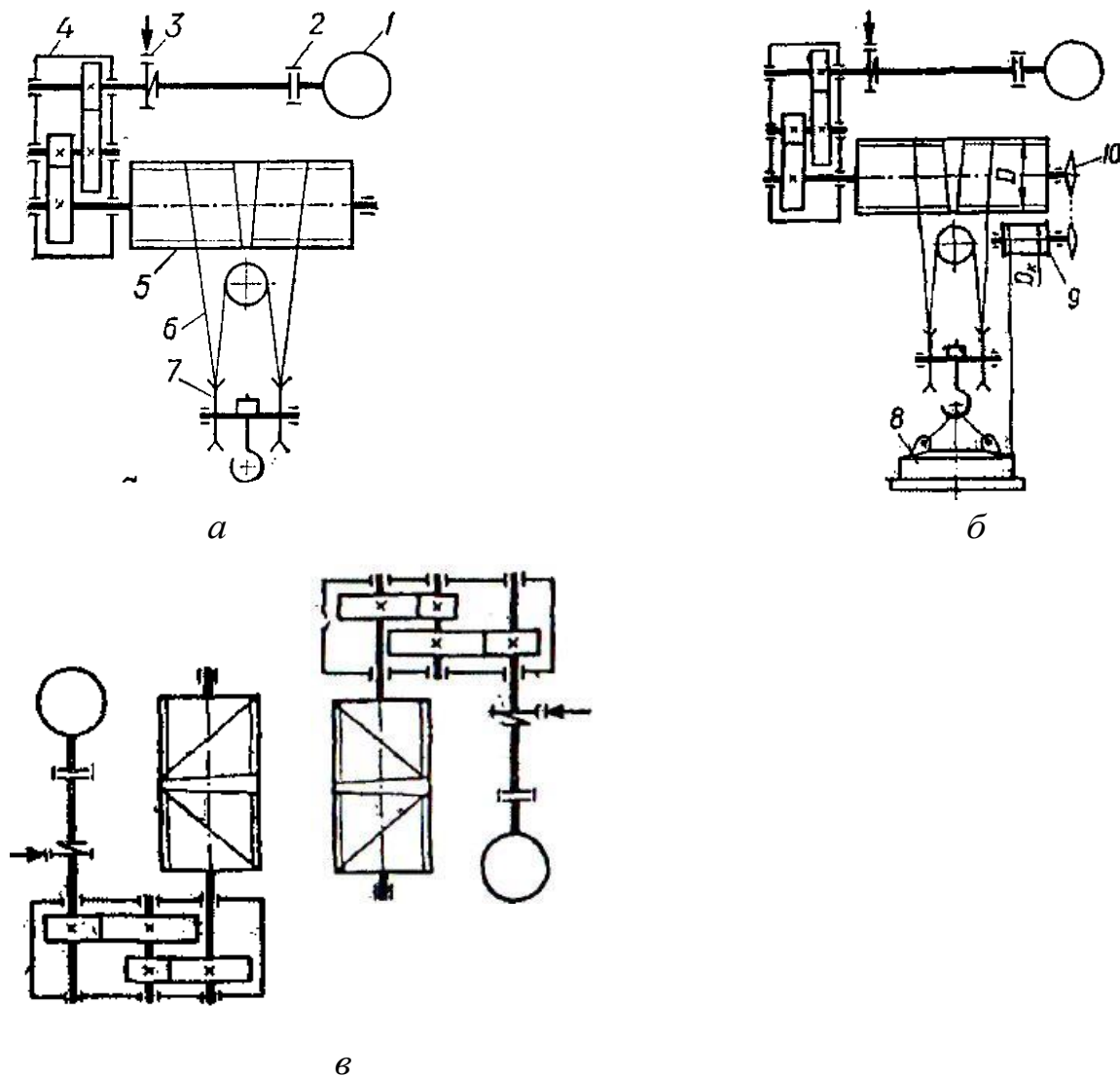


Рис. 4.8 - Кінематичні схеми механізмів підйому

У грейферних кранах на візку встановлюють два однакових механізми - один для підйому, інший для замикання грейфера (рис. 4.8, *в*) або двобарабанну лебідку з планетарною передачею і двома двигунами (більшої потужності для підйому, меншою - для замикання грейфера).

Поліспасти називають систему рухомих і нерухомих блоків, що обгинаються канатом або ланцюгом, який призначений для виграшу в силі - силові поліспасти або швидкості - швидкісні поліспасти. У підйомних механізмах застосовують в основному силові поліспасти зменшення зусилля в канаті і зниження передавального числа редуктора.

Швидкісні поліспасти знаходять обмежене застосування у тихохідних гідравлічних та пневматичних механізмах. Блоки в поліспасті поділяються на рухливі, що переміщуються у просторі, і нерухомі.

Силові та швидкісні залежності двох типів поліспастів можна простежити на відповідних рухомих блоках [8].

Для силового поліспаста (рис. 4.9, *а*) натяг F і швидкість гілки каната v_s :

$$F = G/2\eta; \quad v_s = 2 \cdot v,$$

де v - швидкість підйому вантажу; η - ККД блоку.

Для швидкісного поліспаста (рис. 4.9, *б*) сила на поршні та його швидкість дорівнюватимуть:

$$F = 2G/\eta; \quad v_s = v/2.$$

ККД канатного блоку враховує втрати на тертя в опорах і жорсткість каната; $\eta = 0,98$ для блоків на підшипниках кочення і $\eta = 0,95$ для блоків на підшипниках ковзання.

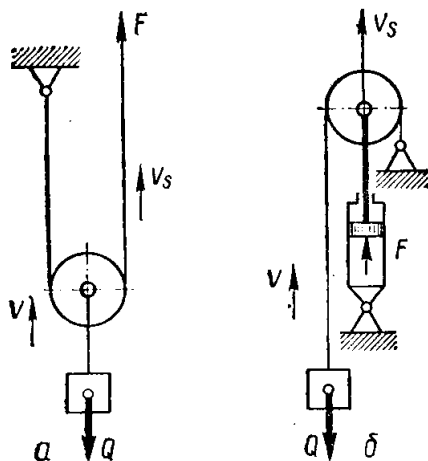


Рис. 4.9 - Поліспасти для виграшу в силі (*а*) та швидкості (*б*)

Одинарні поліспасти. Верхні блоки нерухомі (у просторі), нижні рухомі — переміщуються разом із вантажем (рис. 4.10, *а*).

У нерухомому поліспасти сила натягу у всіх гілках каната однакова:

$$F = G/m, \quad (4.4)$$

де m - число гілок поліспасти, на яких підвішений вантаж. Для одинарного поліспасти m є кратністю чи передатним числом $u_n = m$.

При підйомі вантажу внаслідок втрат у блоках та від жорсткості каната при згинанні натяг у гілках розподіляється нерівномірно. ККД поліспасти визначають як відношення корисної роботи Gh при підйомі вантажу на висоту h до витраченої роботи Fmh :

$$\eta_n = \frac{Gh}{Fmh}; \quad \eta_n = \frac{1 - \eta^m}{m(1 - \eta)}. \quad (4.5)$$

Якщо гілка, що тягне, сходить з нерухомого блоку (на рис. 4.10, *а* штрихова лінія), то

$$\eta_n = \frac{1 - \eta^m}{m(1 - \eta)} \eta. \quad (4.6)$$

Недоліком одинарних поліспастів є те, що разом з підйомом вантаж переміщається також по горизонталі, внаслідок чого змінюються величини реакції опор барабана і утруднюється точність установки вантажу.

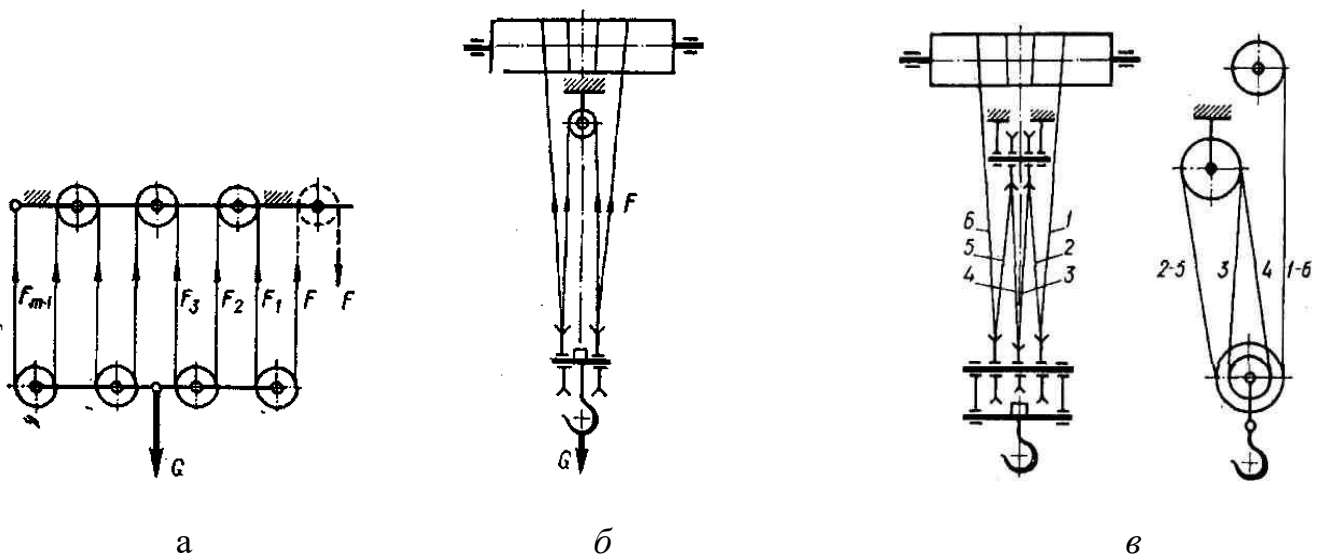


Рис. 4.10 - Поліспасти

Здвоєні поліспасти (рис. 4.10, *б, в*) забезпечують строго вертикальне переміщення вантажу, реакції в опорах барабана розподіляються рівномірно.

Здвоєний поліспасти складається з двох одинарних поліспастів із зрівняльним блоком. На барабан (з правим і лівим різьбленням) навиваються

дві гілки каната поліспасти. Зрівняльний блок при підйомі (опусканні) вантажу не обертається і служить для зрівнювання довжин правої та лівої гілок каната поліспасти при нерівномірній витяжці. Тому його діаметр приймають менше, ніж у основних, і розташовується він по осі симетрії зведеного поліспасти: у верхній обоймі при парній (рис. 4.10, б) і в нижній (рис. 4.10, в) при непарній кратності.

Кратність зведеного поліспасти $u_{\text{п}} = m/2$, тобто дорівнює половині гілок, на яких підвішений вантаж, або числу рухомих блоків у гаковій підвісі: дворазовий на рис. 4.10, б, триразовий - на рис. 4.10, в.

ККД зведеного поліспасти визначають за формулами (206) і (207), але замість m слід брати кратність $u_{\text{п}}$:

$$\eta_{\text{п}} = \frac{1 - \eta^{u_{\text{п}}}}{u_{\text{п}}(1 - \eta)}; \quad \eta_{\text{п}} = \frac{1 - \eta^{u_{\text{п}}}}{u_{\text{п}}(1 - \eta)} \eta. \quad (4.7)$$

Кратність поліспасти механізмів підйому залежить від вантажопідйомності і визначається техніко-економічними розрахунками. Чим більша кратність поліспасти, тим менші діаметри каната (але не менш допустимого), блоків і барабана і менше передатне число редуктора, маса і габарити, але з іншого боку при цьому збільшуються довжини каната, барабана і число блоків.

На підставі техніко-економічних розрахунків та практичного досвіду встановлено межі оптимальних значень кратності поліспасти залежно від вантажопідйомності кранів загального призначення [8]:

Q, \dots	5	10...15	20...30	40...50	75...125
$u_{\text{п}}, \dots$	2	2...3	3...4	4...5	5...6

До гнучких вантажних органів відносяться канати та ланцюги. Сталеві дротяні канати є основним типом гнучких органів, що застосовуються у вантажопідйомних машинах. Вони мають такі переваги: високу міцність, невелику погонну масу, велику гнучкість у всіх напрямках, можливість роботи на високих швидкостях, безшумність роботи, великі довговічність і надійність, внаслідок великої пружності знижують динамічні навантаження в механізмах і металоконструкціях. Існує багато різних конструкцій сталевих канатів, які застосовуються залежно від умов експлуатації.

Потужність двигуна механізму підйому (кВт) визначають з умови підйому номінального вантажу

$$P = Gv/\eta_{\text{м}}, \quad (4.8)$$

де G - вага вантажу, кН; v - швидкість підйому вантажу, м/с; $\eta_{\text{м}}$ - ККД механізму:

$$\eta_m = \eta_{\pi} \cdot \eta_p \cdot \eta_{\sigma}, \quad (4.9)$$

де $\eta_{\pi}, \eta_p, \eta_{\sigma}$ - ККД поліспасти, редуктора, барабана.

Орієнтовно за каталогом вибирають потужність двигуна менше за розрахункову, оскільки не весь час кран працює з номінальним вантажем (нерідко з меншим).

Потужність режиму, що встановився, перераховують на найближче значення при стандартному ТВ і вибирають двигун за каталогом (найближчої меншої потужності).

Надалі двигун перевіряють на нагрівання за середньоквадратичним моментом і на кратність перевантаження в період руху механізму підйому.

Передатне число редуктора

$$u_p = \frac{\omega}{\omega_{\sigma}},$$

де ω, ω_{σ} - кутові швидкості обертання ротора двигуна і барабана:

$$\omega_{\sigma} = \frac{2v_k}{D} = \frac{2v \cdot u_{\pi}}{D},$$

де v_k - швидкість намотування каната на барабан; D - діаметр барабана по осях каната, u_{π} - кратність поліспасти.

Частота обертання барабана

$$n_{\sigma} = n/u_p,$$

де n - частота обертання ротора двигуна.

Фактична швидкість підйому вантажу

$$v_{\phi} = (\eta D n_{\sigma}) / 60 \cdot u_{\pi}. \quad (4.10)$$

Статичний момент на валу двигуна механізму при підйомі вантажів різної ваги G_i згідно з заданим завантаженням крана:

$$M_i = (G_i D) / 2 \cdot u_m \cdot \eta_m. \quad (4.11)$$

де u_m - передатне число механізму, $u_m = u_{\pi} \cdot u_p$; η_m - ККД механізму підйому, що приймається в залежності від маси вантажу, що піднімається за експериментальним графіком [8-10].

Статичний момент на валу двигуна при опусканні номінального вантажу

$$M_i = (G \cdot D \cdot \eta_m) / 2 \cdot u_m \cdot \quad (4.12)$$

Для динамічних розрахунків приводу всі маси механізму, що рухаються, приводять до валу двигуна у вигляді еквівалентної маси з моментом інерції $J_{пр}$, що обертається зі швидкістю ω .

Механізм підйому (рис. 4.11, а) замінюють фізичною моделлю (рис. 4.11, б).

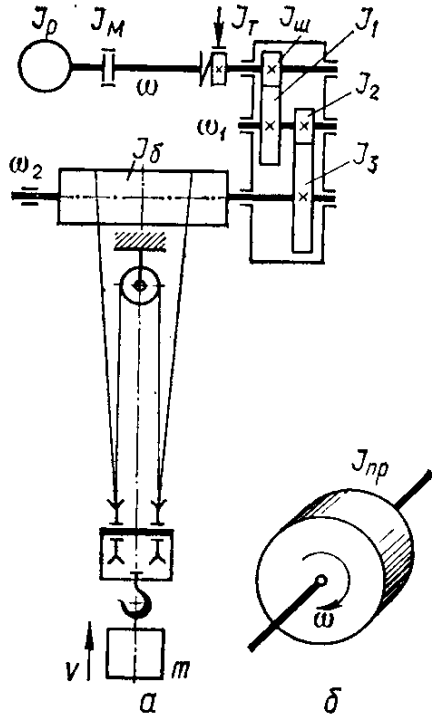


Рис. 4.11 - Кінематична схема (а) та фізична модель (б) механізму підйому [8]

На основі рівності їх кінетичних енергій:

- для пуску

$$\frac{J_{пр} \omega^2}{2} = \frac{(J_p + J_T + J_M) \omega^2}{2} + \frac{(J_1 + J_2) \omega_1^2}{2} + \frac{(J_3 + J_б) \omega_2^2}{2} + \frac{mv^2}{2\eta_m}; \quad (4.13)$$

- для гальмування

$$\frac{J_{пр} \omega^2}{2} = \frac{(J_p + J_T + J_ш) \omega^2}{2} + \frac{(J_1 + J_2) \omega_1^2}{2} + \frac{(J_3 + J_б) \omega_2^2}{2} + \frac{mv^2}{2} \eta_m; \quad (4.14)$$

де $J_p, J_T, J_M, J_ш$ - моменти інерції мас, що знаходяться на валу двигуна (ротора, гальмівного шківа, шестерні, муфти); $J_1, J_2, J_3, J_б$ - моменти інерції мас, що знаходяться на інших (більш тихохідних) валах; m - маса вантажу, що піднімається.

Звідси

- при пуску

$$J_{пр} = J_0 + \frac{J_1 + J_2}{u_1^2} + \frac{J_3 + J_б}{(u_1 \cdot u_2)^2} + \frac{m \cdot v^2}{\omega^2 \cdot \eta_m}; \quad (4.15)$$

- при гальмуванні

$$J_{\text{ПР}} = J_0 + \frac{J_1 + J_2}{u_1^2} + \frac{J_3 + J_6}{(u_1 \cdot u_2)^2} + \frac{m \cdot v^2}{\omega^2} \eta_m; \quad (4.16)$$

де $J_0 = J_p + J_T + J_M + J_{\text{ш}}$.

Оскільки наведені моменти інерції редуктора, барабана та інших деталей обернено пропорційні квадрату передавального числа, їх частка у загальному моменті інерції мас системи невелика (10...25 %).

Тоді формули (284) і (285) можна подати у такому вигляді:

- для пуску

$$J_{\text{ПР}} = \delta J_0 + m \frac{v^2}{\omega^2 \cdot \eta_m}; \quad (4.17)$$

- для гальмування

$$J_{\text{ПР}} = \delta J_0 + m \frac{v^2}{\omega^2} \eta_m; \quad (4.18)$$

де δ - коефіцієнт, що враховує моменти інерції мас деталей, що обертаються повільніше, ніж вал двигуна; для механізмів підйому кранів, лебідок та ін $\delta = 1,1 \dots 1,25$.

Момент двигуна при пуску механізму

$$M_{\text{П}} = M_C + J_{\text{ПР}} \frac{\omega}{t_{\text{П}}} \quad (4.19)$$

або

$$M_{\text{П}} = M_C + \delta J_0 \frac{\omega}{t_n} + m \frac{v^2}{\omega t_n \eta_m}, \quad (4.20)$$

де $t_{\text{П}}$ - тривалість пуску, с.

Коефіцієнт перевантаження електродвигуна на момент

$$\psi_{\text{max}} = M_{\text{max}} / M_{\text{н}} = 2,5 \dots 3,0. \quad (4.21)$$

Час пуску приводу $t_{\text{П}}$ під час підйому та опускання вантажу.

$$t_{\text{П}} = \frac{J_{\text{ПР}} \omega}{M_{\text{П.сер}} \pm M_{\text{СТ}}}. \quad (4.22)$$

Знак "мінус" відповідає пуску під час підйому вантажу, знак "плюс" - при опусканні.

Прискорення при пуску приводу, м/с^2 ,

$$a_{\text{max}} = v / t_{\text{П}}. \quad (4.23)$$

Отримані прискорення повинні задовольняти наступним рекомендаціям для кранів загального призначення (м/с²) [8-10]:

КРАНИ

Монтажні і для підйому рідкого та розпеченого металу 0,1

Машинобудівних заводів 0,2

Перевантажувальні 0,6...0,8

Середньоквадратичний момент електродвигуна визначається згідно навантажувальної діаграми протягом циклу для двигунів загального призначення

$$M_{екв} = \sqrt{\frac{\sum M_n^2 t_n + \sum M_y^2 t_y}{\beta \sum t_n + \sum t_y + \beta_0 \sum t_0}}, \quad (4.24)$$

де M_n - значення моментів у перехідні періоди роботи приводу протягом циклу (приймаємо по навантажувальній діаграмі); M_y - значення моментів, що встановилися; $\sum t_n$ — сумарний час руху приводу, що не встановився, протягом одного циклу; $\sum t_y$ — сумарний час руху, що встановився; $\sum t_0$ - сумарний час пауз; β — коефіцієнт, що враховує погіршення умов охолодження двигуна при пуску та гальмуванні:

$$\beta = \frac{1 + \beta_0}{2}$$

тут β_0 - коефіцієнт, що враховує погіршення умов охолодження під час пауз; $\beta_0 = 0,25...0,35$ для відкритих та захищених двигунів з вентилятором на валу; $\beta_0 = 0,3,..0,55$ для закритих двигунів з ребрами та зовнішнім обдуванням; $\beta_0 = 0,7...0,98$ для закритих двигунів [8-10].

Для кранових електродвигунів, потужність яких задана з урахуванням їх роботи у повторно-короткочасному режимі та час пауз не враховують, еквівалентний момент (кН·м) буде:

$$M_{екв} = \sqrt{\frac{M_n^2 \sum t_n + \sum M_y^2 t_y}{\beta \sum (t_n + t_y)}} \leq M_n, \quad (4.25)$$

де M_n - пусковий момент електродвигуна (однаковий для всіх випадків навантаження); M_y — значення моментів, що встановилися, згідно з навантажувальною діаграмою.

Еквівалентна потужність двигуна з нагрівання

$$P_{екв} = M_{екв} \cdot \omega. \quad (4.26)$$

Остаточно визначають потужність, що відповідає фактичному ТВ .

4.5 Електроприводи механізмів руху підйомних кранів

Основним типом механізмів руху у кранах є рейкові механізми, рідше – на пневмоході. За місцем розташування механізми руху можна розділити на дві групи [8]: 1) механізми, розташовані безпосередньо на машині або візку, що рухається (рис. 4.12, а, б); 2) механізми, розташовані поза об'єктом, що рухається, з гнучкою (канатною або ланцюговою) тягою (рис. 4.12, в); 3) механізми, які розташовані безпосередньо біля ходового колеса (рис. 4.12, г);

по конструкції опорної частини крана: рейкові, безрейкові, канатні;

по конструкції ходової частини крана: колісні, гусеничні, крокуючі;

за родом приводу: електричний, ДВЗ, гідравлічний, пневматичний.

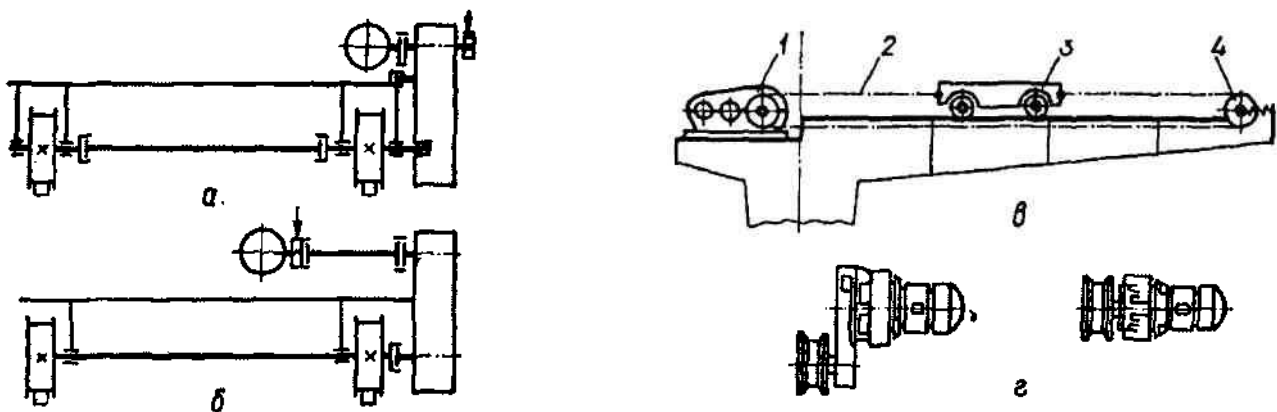


Рис. 4.12 - Схеми приводів у механізмах руху

Найбільше застосування знаходять механізми з електроприводом; ДВЗ - у мобільних кранах; гідравлічний і пневматичний приводи мають поки обмежене застосування.

Кінематичні схеми механізмів руху першої групи (рис. 4.13) залежно від типу та розташування приводу можна розділити на наступні [8]:

- з роздільним чи індивідуальним приводом (рис. 4.13, а);

- з центральним приводом та тихохідним трансмісійним валом (рис. 4.13, б);

- з центральним розташованим двигуном і швидкохідним трансмісійним валом з кінцевими редукторами (рис. 4.13, в).

У сучасних конструкціях кранів найбільшого поширення набули механізми з роздільним приводом. Це відповідає сучасним принципам конструювання машин з максимальним наближенням приводу до виконавчого органу механізму. Механізм складається (рис. 4.13, а) з електродвигуна 1, гальма 2, редуктора 3, з'єднаного зубчастими муфтами 4 з приводним колесом 5. Основні переваги роздільного приводу перед іншими типами: простота конструкції, мала металомісткість і розміри, відсутність довгих трансмісійних валів, муфт і підшипників, більш плавний рух крана та ін.

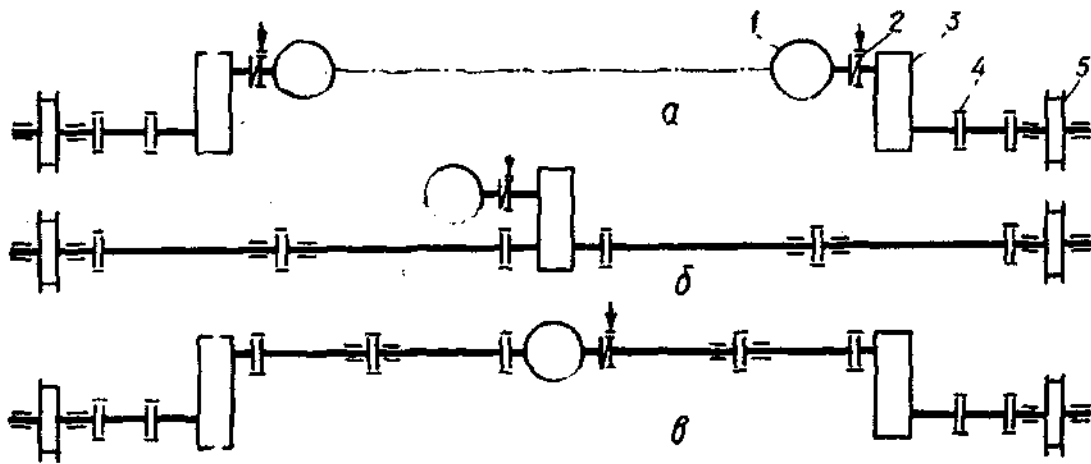


Рис. 4.13 - Кінематичні схеми механізмів руху

Для нормальної роботи механізмів повинна бути забезпечена електрична синхронізація роботи окремих двигунів, щоб уникнути перекосів моста, тобто механічний зв'язок між ходовими колесами за допомогою трансмісійного валу тут замінено електричною («електричний вал»). Економічно доцільно застосовувати роздільний привід у кранах з великими прольотами (понад 16 м); при малих прольотах - із центральним приводом.

Дуже компактна конструкція роздільного приводу з фланцевим електродвигуном (рис. 4.12, з), що володіє зручностями монтажу та ремонту; у спеціальних кранах застосовують також приводи, вмонтовані у ходове колесо.

Механізми руху з центральним приводом є простими, надійними, але разом з тим мають недоліки - велика металомісткість внаслідок великого діаметра валу, що вимагає масивних муфт і підшипників, в результаті збільшується маса крана.

Трансмісійний секційний вал виготовляють з цільнокатаних товстостінних труб. Секції з'єднані зубчастими муфтами, що компенсують перекоси та деформацію валу.

Механізми руху з центральним двигуном і швидкохідним трансмісійним валом характеризуються меншою масою в порівнянні з попередньою конструкцією, так як діаметр трансмісійного валу в 2...3, а маса в 4...6 разів менше, ніж тихохідного, отже, менше маса підшипників і зубчастих муфт. Недолік цього механізму - висока чутливість трансмісійного валу та муфт до неточностей виготовлення та монтажу, а також до перекосів валів та деформації при прогинах моста. У швидкохідних валах це призводить до великих вібрацій крана та поломок.

Для руху візків застосовують кінематичні схеми згідно (рис. 4.12, а, б, 4.13, б), а також механізми з гнучкою тягою — канатом або ланцюгом (рис. 4.12, в) у стрілових та консольних кранах. Привід 1 за допомогою каната 2 (або ланцюга),

що охоплює обвідний блок 4, пересуває візок 3 по балці консолі; напрямок руху візка залежить від напрямку обертання барабана.

Переваги механізму: компактність та мала маса візка внаслідок розміщення механізмів підйому та руху поза візком. Це дозволяє зменшити масу металоконструкції крана. Недолік - підвищений знос вантажного та тягового канатів.

Опір руху при встановленому русі рейкового механізму в загальному випадку залежить від поєднання наступних факторів: ваги вантажу G , власної ваги крана G_k або візка G_t , ухилу шляху $F_{ук}$, яким рухається кран, вітрових навантажень F_v , геометричних розмірів ходової частини, типу підшипників, якості шляху та якості монтажу.

Значення коефіцієнта k_p залежить від типу крана, довжини прольоту, приводу механізму (центральний, роздільний), конструкції колеса та типу підшипників: для кранів на конічних колесах $k_p = 1,2$; на циліндричних $k_p = 1,5$; для візків $k_p = 2...2,5$; для кранів на циліндричних безребордних колесах з напрямними бічними роликками умовно приймають $k_p = 1,1$. Зусилля від нахилу шляху

$$F_{ук} = [G + G_k], \quad \sin \alpha_y \approx [G + G_k] \alpha_y, \quad (4.27)$$

де α_y - ухил підкранового шляху в залежності від типу крана, знаходиться в межах 0,001...0,01 [8-10]:

мостові крани	0,0015
візки, козлові крани	0,002
баштові крани	0,01

Загальний опір пересування можна визначити, ввівши поняття коефіцієнта опору або коефіцієнта тяги, що дорівнює відношенню сили опору пересування крана до ваги крана і вантажу, що рухається:

$$w_c = [G + G_k] = \frac{W}{[G + G_k]} = \frac{f \cdot d + 2k}{D} \cdot k_p = 7...10 \text{ Н/кН}. \quad (4.28)$$

Для механізмів руху кранів сила опору

$$W = \frac{W}{G + G_k} \left[\left(\frac{f \cdot d + 2k}{D} \right) + \alpha_y \right]. \quad (4.29)$$

У розрахунках приймають такі значення коефіцієнтів [8-10]

$$k = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}; \quad f = 0,002; \quad \alpha_y = 0,001.$$

З урахуванням дефекту шляху опору від тертя в ребордах та інших опорів набувають розрахункового значення $W_p = (2,5...3)W$.

Як показують розрахунки та експериментальні дослідження, у період встановленого руху в механізмах діють лише статичні навантаження від сил тертя (при невеликих зовнішніх зусиллях від вітру або ухилу шляху) невеликої величини.

Основними навантаженнями, що визначають потужність двигуна та міцність механізму, як правило, є динамічні, які виникають у період пуску та гальмування приводу.

Для попереднього вибору двигуна визначаємо загальне зусилля руху завантаженого крана з урахуванням сил інерції мас F_K та пусковий період (кН):

$$W_{об} = W + F_{И} = W + (1,1 \dots 1,3)(m_T + m_K) \cdot a, \quad (4.30)$$

де m_T, m_K - поступово рухомі маси вантажу і крана; a - середнє прискорення крана при пуску, m/c^2 ; допустимі значення залежать від призначення крана і знаходяться в межах $a = 0,05 \dots 0,25 m/c^2$ (малі значення для монтажних кранів та кранів, що транспортують рідкий та розпечений метал); $1,1 \dots 1,3$ — коефіцієнт, що враховує обертові маси приводу [8-10].

Потужність, кВт, попередньо вибраного двигуна

$$P = \frac{(W + F_{И}) \cdot v}{10^3 \cdot \eta_M \cdot \psi_{п.сер}}, \quad (4.31)$$

де $\psi_{п.сер}$ - середня кратність пускового моменту двигуна (0,8 ... 2).

Номінальну потужність попередньо обирається двигуна можна визначити відразу за формулою

$$P = \frac{(Q + G) \cdot v}{10^3 \cdot \eta_M \cdot \psi_{п.сер}} \left(w_c + \frac{\delta a}{g} \right), \quad (4.32)$$

де w_c - коефіцієнт опору руха візка.

Значення коефіцієнтів $\delta = 1,1 \dots 1,3$.

Передатна кількість редуктора:

$$u_p = \frac{\omega}{\omega_K}.$$

Частота обертання колеса

$$\omega_K = 2v / D.$$

Вибираємо за каталогом тип редуктора та його параметри.

При роздільному приводі потужність одного двигуна приймають:

$$P_1 = (0,5 \dots 0,7) \cdot P.$$

Розгойдування вантажу, що піднімається, на канатах впливає на потужність приводу механізму руху.

У загальному випадку потужність двигуна механізму руху з урахуванням сил інерції при пуску та розгойдуванні вантажу може бути визначена за формулою

$$P = \frac{(Q + G) \cdot v}{10^3 \cdot \eta_m \cdot \psi_{n.cер}} + \left[w_c + \frac{a}{g} \cdot (\delta + \beta) \right], \quad (4.33)$$

де $\beta = \frac{Q}{Q + G}$.

Як бачимо, вплив розгойдування вантажу на значення додаткової потужності приводу для візків значно більше, ніж для кранів, так як менша її власна маса, а отже, більший коефіцієнт β . При жорсткому підвішуванні вантажу $\beta = 0$ (наприклад, для кранів-штабелерів).

У кранах, на які діють великі зовнішні навантаження (вітрові, від ухилу шляху та ін.), потужність приводу необхідно розраховувати за сумарними максимальними статичними зусиллями:

$$P_{C.max} = \frac{W_{C.max} \cdot v}{10^3 \cdot \eta_m}. \quad (4.34)$$

Ця потужність може виявитися більшою, ніж потужність, розрахована за формулами (4.31), (4.33):

$$P_{C.max} > P.$$

При нормальній роботі крана приводні колеса перекочуються по рейках без ковзання. Однак у період різкого надання механізму прискорення при пуску та гальмуванні зв'язок між колесами і рейками може порушитися з пробуксовками або повним буксуванням.

Порушення стійкості руху крана (буксування) пов'язане не тільки зі зменшенням швидкості і продуктивності, але і з різким збільшенням напруженості всієї приводної лінії, так як в ній виникають коливання, що не згасають типу автоколивальних з постійними амплітудами, які можуть бути небезпечними для міцності механізму. Крім того, при буксуванні відбувається зношування приводних коліс.

Тому необхідно проводити перевірку на стійкість шляхом розрахунку коефіцієнта запасу зчеплення коліс з рейками. Так як ймовірність нестійкого руху більша при меншому тиску на приводні колеса, то розрахунок слід вести для крана з роздільним приводом, коли крановий візок знаходиться в одному з крайніх положень моста.

Умова сталого руху

$$F_{\text{цц}} \geq k_{\text{цц}} (W_{\text{об}} - F_{\text{т}}), \quad (4.35)$$

де $k_{\text{цц}}$ - Коефіцієнт запасу зчеплення.

Сила зчеплення колеса з рейкою повинна бути більшою від загального тягового зусилля ($W_{\text{об}}$) приводу ненавантаженого крана при пуску без урахування опору тертя в підшипниках коліс ($F_{\text{т}}$).

Для забезпечення необхідного запасу зчеплення $k_{\text{цц}} \geq 1,2$ при пуску незавантаженого крана його прискорення має бути не більше значення, обчисленого за формулою

$$a_{\text{п.макс}} = \left[\frac{z_{\text{пр}} \left(\frac{\varphi_c}{k_{\text{цц}}} + \frac{fd}{D} \right) - w_c - \frac{F_{\text{т}}}{G_{\text{к}}}}{z_{\text{об}}} \right] \cdot g, \quad (4.36)$$

де w_c - коефіцієнт опору пересування; $z_{\text{пр}}$ - число приводних коліс; $z_{\text{об}}$ - загальна кількість коліс моста; φ_c - коефіцієнт зчеплення коліс з рейкою.

Значення коефіцієнта зчеплення залежить від стану шляху та місця встановлення крана: $\varphi_c = 0,12$ для кранів, що працюють на відкритому повітрі; $\varphi_c = 0,20$ - для кранів, встановлених у закритих приміщеннях, $\varphi_c = 0,25$ - для кранів з піскоструми; $\varphi_c = 0,35 \div 0,45$ - для коліс з гумовим ободом.

Фактичний коефіцієнт запасу зчеплення провідних коліс із рейками у загальному випадку, з урахуванням вітрових навантажень, визначають за формулою

$$k_{\text{цц}} = \frac{\varphi_c}{\left(\frac{a_{\text{п}}}{g} + \frac{F_{\text{в}}}{G_{\text{к}}} + w_c \right) \cdot \frac{z_{\text{об}}}{z_{\text{пр}}} - \frac{fd}{D}} \geq 1,2, \quad (4.37)$$

де $a_{\text{п}}$ - фактичне прискорення при пуску; w_c - коефіцієнт опору руху крана (формула 4.28) при $k_{\text{р}} = 1$. Допустимі середні прискорення та уповільнення становлять 0,05 ... 0,25; максимальні 1...1,2 м/с² [8-10].

З роздільним приводом перевіряють на випадок роботи одним приводом і візка без вантажу, розташованого з його боку. Коефіцієнт запасу зчеплення в цьому випадку $k_{\text{цц}} = 1,02 \dots 1,1$ (велике значення при дії на кран вітрових навантажень).

З формул (4.36) і (4.37) видно, що значення прискорень крана та коефіцієнта запасу зчеплення (за відсутності сил вітру) не залежать від того, навантажений кран чи ні.

Призначення гальма в механізмі руху - поглинання кінетичної енергії поступово рухомих і обертальних мас крана. Частота своїх коливань залежить

від висоти підйому вантажу та співвідношення мас. Мінімальна частота буде при максимальній висоті підвісу, максимальна (0,2 ... 0,3 Гц) - при малій висоті. Розгойдування вантажу веде до підвищення навантажень на конструкцію механізму, а також до збільшення небезпеки пробуксовування приводних коліс. Зниження амплітуди коливань вантажу та візка можна досягти зменшенням середнього прискорення приводу та підвищенням плавності регулювання швидкості двигуна.

Призначення гальма в механізмі пересування - поглинання кінетичної енергії поступово рухомих і обертальних мас крана.

Згідно з нормами Держгіртехнагляду, всі крани та візки зі швидкостями руху більше 0,5 м/с повинні бути забезпечені гальмами. Розрахунок гальмівного моменту механізму руху повинен проводитися з умови виключення буксування приводних коліс по рейках за максимально допустимих значень уповільнень. Значення гальмівного моменту визначають як різницю моментів сил інерції рухомих мас та мінімального моменту сил опору руха

$$M_{\Gamma} = M_{\text{и}} - M_{\text{с.мін}} \quad (4.38)$$

4.6 Розрахунок електроприводу механізму з канатною (ланцюговою) тягою. Розрахунок включає визначення опорів руху візка, розрахунок потужності та вибір електродвигуна, редуктора, тягового каната, перевірку двигуна за умовами нагріву та перевантажувальної здатності.

На візку (рис. 4.14) встановлено два блоки, якими перекатується підйомний канат під час руху візка [8]. Така конструкція забезпечує сталість рівня піднятого вантажу при русі візка у будь-якому напрямку. Однак при цьому збільшується опір руху візка, обумовлений натягом гілок, жорсткістю каната і ККД блоків. Для забезпечення постійного натягу тягового каната і стійкого руху візка без ривків обвідний блок зазвичай підпружинюють.

Загальний опір руху візка дорівнює сумі опорів від сил тертя в ходовій частині W_x , вітрового навантаження F_v , ухилу балки $F_{\text{ук}}$, від руху вантажного каната F_k по блоках візка і натягу вільної гілки F_0 тягового каната:

$$F = W_x + F_v + F_{\text{ук}} + F_k + F_0 \quad (4.39)$$

Опір сил тертя

$$W_x = (G + G_{\Gamma}) \frac{(d \cdot f + 2k) \cdot k_p}{D_p} \quad (4.40)$$

Решту опорів знаходимо за відомими раніше формулами.

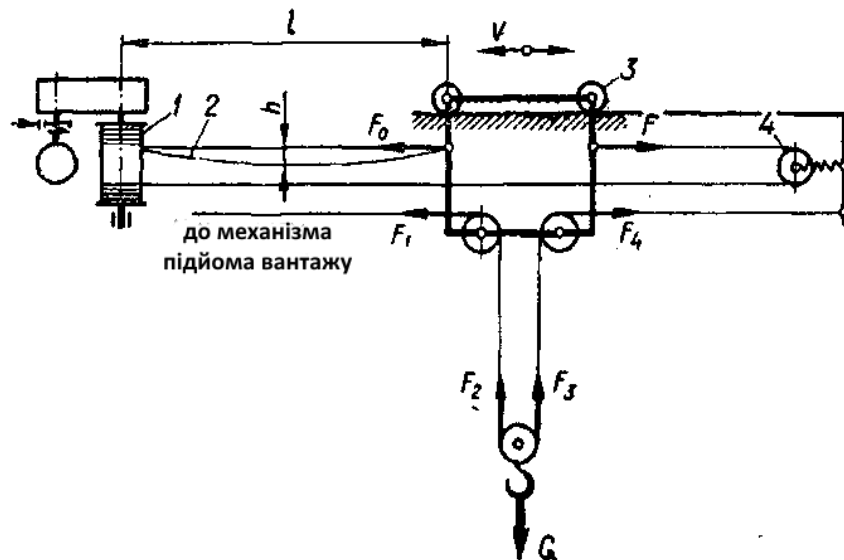


Рис. 4.14 - Кінематичні схема механізму з канатною (ланцюговою) тягою.

Опір від різниці напруги вантажного каната

$$F_k = F_1 - F_4.$$

Натяг у гілках каната:

$$F_2 + F_3 = G;$$

$$F_3 = F_2 \cdot \eta; \quad F_2 = \frac{G}{1 + \eta};$$

$$F_1 = \frac{G}{\eta \cdot (1 + \eta)}.$$

Тоді

$$F_4 = \frac{G}{1 + \eta} \cdot \eta^2;$$

$$F_k = \frac{G(1 - \eta^3)}{(1 + \eta) \cdot \eta}. \quad (4.41)$$

При підвісі вантажу на m гілках каната:

$$F_k = \frac{G(1 - \eta) \cdot (1 - \eta^{m+1})}{\eta \cdot (1 - \eta^m)}, \quad (4.42)$$

тут η - ККД блоку вантажного каната.

Натяг у вільній гілці тягового каната

$$F_0 = \frac{q_k l^2}{8 \cdot h}, \quad (4.43)$$

де q_k - вага 1 м тягового каната; l — максимальна довжина тягового каната, що вільно висить, при розташуванні вантажного візка в кінцевому положенні; h — стріла провісу тягового каната (1...3% прольоту).

Статична потужність двигуна

$$P_C = -\frac{F v}{\eta_m}. \quad (4.44)$$

Перевірка двигуна на нагрівання та перевантаження виконується раніше викладеними методами.

4.7 Електроприводи механізмів зміни вильоту стріли кранів. Ці механізми характерні лише для стрілових кранів, де зміна вильоту збільшує площу обслуговування краном. У поворотних стрілових кранах механізми зміни вильоту призначені для переміщення вантажу у радіальному напрямку.

Виліт можна змінювати двома способами: радіальним - переміщення візка або електроталі по стрілі; хитання стріли у вертикальній площині (змінюю кута нахилу).

Стріловий візок може бути звичайної конструкції (з механізмами підйому і руху) і полегшена (з канатною тягою і виносними механізмами), що має значно меншу металомісткість.

Механізми зміни вильоту хитанням стріли бувають наступних типів (рис. 4.15): поліспасти (а), гідравлічні (б), рейкові (в), гвинтові (г), секторні та секторно-кривошипні (д), кривошипно-коромислові (е) [8-10]. Найбільш широко застосовують поліспасти механізми внаслідок простоти влаштування та експлуатації, невеликої маси. Все більшого поширення набуває гідравлічний механізм через невеликі габарити, плавність ходу та можливість регулювання швидкості. Інші механізми встановлюють у кранах, де необхідний жорсткий зв'язок зі стрілою, що виключає мимовільний рух стріли під дією сил інерції та вітрових навантажень. Найбільш простими з них є рейковий та гвинтовий механізми, що мають порівняно невелику металомісткість. Однак гвинтовий механізм має низький ККД. Кривошипному механізму властива цінна властивість - підвищена безпека в роботі внаслідок замикання стріли в мертвих положеннях кривошипу, що виключає застосування кінцевих захистів, які оберігають від можливого падіння або закидання стріли при переході за крайнє становище.

Поліспасти механізми зміни вильоту аналогічні механізмам підйому і складаються з двигуна, редуктора, гальма та барабана. Натяг каната підйому стріли змінний і залежить від кута нахилу. Для забезпечення сталості крутного моменту двигуна застосовують конічні або складніші конструкції (форми) барабани. Механізм зміни вильоту повинен бути забезпечений гальмом із запасом гальмування не менше 1,75, розрахованим на максимальний момент, що крутить. У кранах, призначених для підйому отруйних та вибухових

вантажів, а також розплавленого металу, механізми повинні бути обладнані двома гальмами.

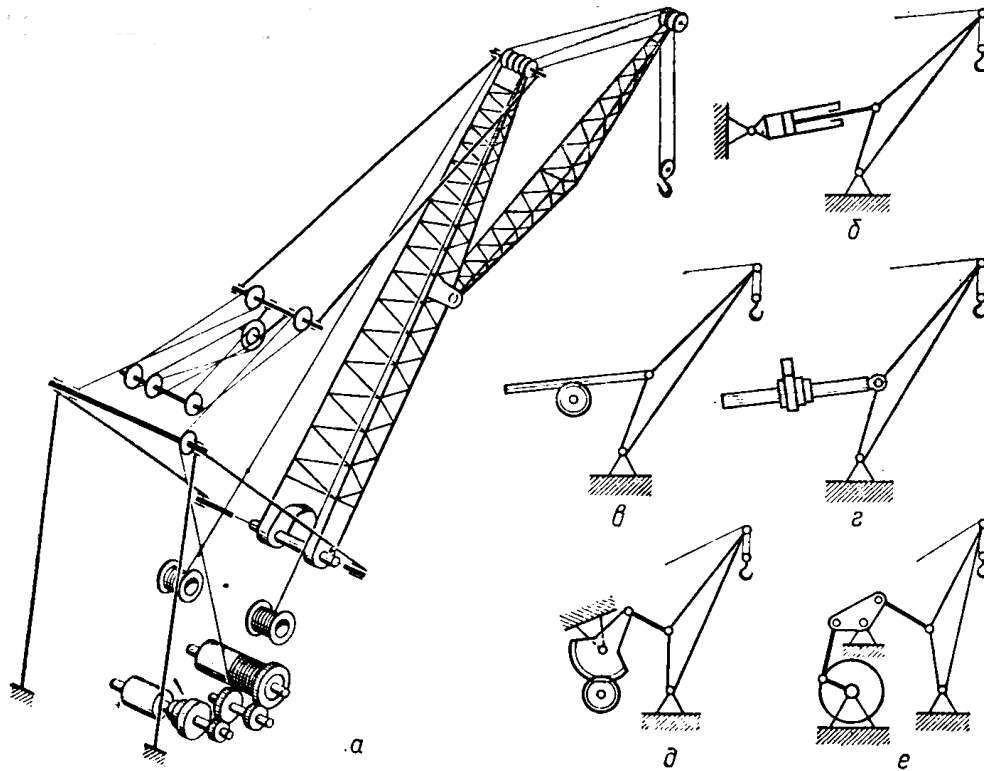


Рис. 4.15 - Схеми механізмів вильоту стріли хитанням

Розрахункова схема поліспастного механізму наведено на рис. 4.16, *a*. На стрілу діють такі сили: вага вантажу G , вага стріли G_c , вітрові навантаження F_{B1} , F_{B2} , сила натягу F_T підйомного каната.

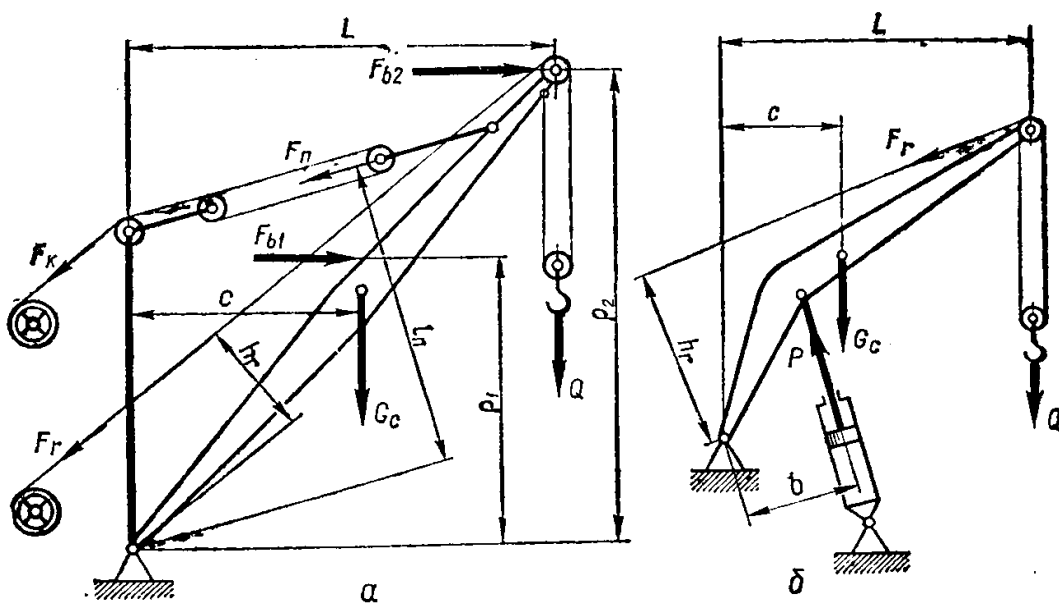


Рис. 4.16 - Розрахункові схеми механізмів вильоту стріли

Розрахунок включає визначення потужності електродвигуна за середнім і середньоквадратичним навантаженням, перевірку по максимальним навантаженням при пуску і на тривалість пуску і гальмування приводу. Спочатку визначають силу, що діє на стріловий поліспасть для кількох (крайніх та середніх) положень стріли. Кратність поліспасти вибирають залежно від вантажопідйомності крана.

Загалом зусилля в стріловому поліспасті отримаємо з рівняння рівноваги сил, що діють на стрілу

$$F_k = \frac{G \cdot L + G_c \cdot c - F_r \cdot h_r + F_{B1} \cdot \rho_1 + F_{B2} \cdot \rho_2}{l_{\pi}}, \quad (4.45)$$

де L - плече дії ваги вантажу; c - плече дії сили G_c ; h_r - плече дії сили F_r ; ρ_1, ρ_2 — відстань від центру дії вітрових навантажень до шарніру стріли; l_{π} - відстань від сили F_{π} до шарніра стріли.

Будують навантажувальну діаграму та визначають середньоквадратичне навантаження:

$$F_{\pi, \text{сеп}} = \sqrt{\frac{\sum (F_{\pi, i} \cdot \Delta l_i)^2}{\sum \Delta l_i}}. \quad (4.46)$$

де $F_{\pi, i}$ - зусилля в поліспадах для різних проміжних кутів нахилу стріли; Δl_i — довжина поліспаду для кожного проміжку.

Для практичних розрахунків зусиль у стріловому поліспасті можна вживати середнє зусилля для кінцевих положень стріли — нижнього та верхнього:

$$F_{\pi, \text{сеп}} = \frac{F_{\pi, \text{max}} + F_{\pi, \text{min}}}{2}.$$

Статична потужність двигуна

$$P_C = \frac{F_{\pi, \text{сеп}} v_{\text{пол}}}{\eta_M}$$

де $v_{\text{пол}}$ - швидкість скорочення поліспаду, м/с; η_M - ККД механізму;

$$v_{\text{пол}} = v_{\text{сеп}} \frac{\Delta l_{\pi}}{\Delta a}, \quad (4.47)$$

де $\Delta l_{\pi} = \Delta l_{\text{max}} - \Delta l_{\text{min}}$ - величина скорочення поліспаду; $\Delta a = L_{\text{max}} - L_{\text{min}}$ - величина зміни вильоту; $v_{\text{сеп}}$ - середня швидкість переміщення вантажу.

Потужність двигуна (статичну) можна визначити також за середнім зусиллям у канаті F_K , який намотується на барабан,

$$P = \frac{F_K v_K}{\eta_M}, \quad (4.48)$$

де v_K - середня швидкість навивки каната на барабан.

Попередньо обраний двигун за статичними навантаженнями перевіряють з умов нагріву та перевантаження.

Перевірка двигуна на тривалість пуску при мінімальному та максимальному зусиллях

$$t_{\text{п}} = \frac{2T}{\omega \cdot (M_{\text{п.сеп}} - M_{\text{ст}}) \cdot \eta_M} + \frac{J_{\text{пр}} \cdot \omega}{M_{\text{п.сеп}} - M_{\text{ст}}}, \quad (4.49)$$

де $T = m_C \cdot \omega_C^2 \cdot L^2 / 8 + m_B \cdot v^2 / 2$ - кінетична енергія стріли і вантажу; $J_{\text{пр}}$ - приведений до валу двигуна момент інерції обертових мас механізму; $\omega_C = \alpha / t_{\text{п}}$ - кутова швидкість обертання стріли, с^{-1} ; α - кут підйому стріли; ω - швидкість обертання двигуна, с^{-1} ; m_C , m_B - маси стріли та вантажу, кг; v — швидкість руху вантажу під час підйому стріли, м/с.

Час підйому стріли

$$t_{\text{п}} = \frac{\Delta l_{\text{п}}}{g_{\text{п}}},$$

тут $v_{\text{п}}$ - швидкість руху вантажу при підйомі стріли або лінійна швидкість руху кінця стріли; M_C - статичний момент при F_{max} та F_{min} ;

при F_{max}

$$M_C = \frac{F_{\text{max}}}{u_p} \cdot \frac{D}{2} \frac{1}{\eta_M};$$

при F_{min}

$$M'_C = \frac{F_{\text{min}}}{u_p} \cdot \frac{D}{2} \frac{1}{\eta'_M}.$$

Гальмо перевіряють на тривалість гальмування при дії максимального та мінімального моментів

$$t_{\text{г}} = \frac{2T \cdot \eta_M}{\omega \cdot (M_{\text{г}} - M'_c)} + \frac{J_{\text{пр}} \cdot \omega}{M_{\text{г}} - M'_c}, \quad (4.50)$$

де M'_c , $M_{\text{г}}$ — статичний і гальмівний моменти.

При F'_{\max} и F'_{\min} з урахуванням ККД

$$M'_c = M'_c \cdot \eta_m^2.$$

Тривалість пуску та гальмування механізму повинна перебувати в певних межах залежно від довжини стріли з умови, щоб лінійне прискорення кінця стріли не перевищувало 1 м/с^2 .

Для отримання необхідного часу гальмування гальмо слід відрегулювати на менший гальмівний момент або на валу двигуна встановити маховик.

В даний час широкого поширення набули також гідравлічні механізми зміни вильоту (рис. 4.16, б), що володіють великою компактністю, плавністю роботи.

Зусилля в циліндрі, необхідне для підйому стріли,

$$P = \frac{GL + G_c c + F_{\Gamma} h_{\Gamma}}{b}. \quad (4.51)$$

5. ВИМОГИ, ЩО ПРЕД'ЯВЛЯЮТЬСЯ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

При виборі системи електроприводу необхідно враховувати сукупність вимог до електроприводу.

Основними вимогами, які мають бути безумовно виконані при проектуванні електроприводу, є технологічні вимоги:

- має бути забезпечена задана продуктивність механізму, ніколи зниження продуктивності не окупається зниженням вартості обладнання;

- переміщення робочого органу має виконуватись у межах заданого часу;

- прискорення робочої машини має перевищувати заданого (допустимого) значення;

- відхилення швидкості встановленого режиму має перевищувати заданого значення (заданого статизму);

- на вимогу робочої машини електропривод повинен забезпечувати реверс.

До вимог, що забезпечують надійну та економічну роботу електроприводу протягом терміну експлуатації обладнання, належать:

- величина еквівалентного струму (моменту) має бути в межах $0,85 \dots 1$ її допустимого значення;

- тиристорний перетворювач і двигун повинні витримувати які виникають короткочасні перевантаження;

- величини опорів пускових та гальмівних резисторів не повинні відрізнятися від розрахункових значень більш ніж на 5%;

- величина еквівалентного нагрівання струму резисторів повинна бути в межах 0,7...1 тривалого струму резистора найбільш навантаженого ступеня;
- економічність системи електроприводу має бути максимальною, що забезпечує мінімум капітальних витрат та мінімум втрат енергії.

При розробці вимог до електроприводу необхідно враховувати умови електропостачання робочої машини (можливі коливання напруги від +10 % до – 15 % від номінальної напруги мережі живлення), а також можливі зміни технологічного процесу (розкид мас вантажів, що переміщуються, викликає зміну статичного моменту від +10 % до -10% від номінального моменту двигуна) [8].

6. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ РОДУ СТРУМУ І ТИПУ (ВАРІАНТА) ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Вибір роду струму та типу електроприводу доцільно проводити на основі розгляду та порівняння техніко-економічних показників низки варіантів, що задовольняють технічним вимогам даної робочої машини.

На підставі вихідних даних і вимог, що пред'являються електроприводу, необхідно вибрати варіант електроприводу, здатний повністю виконати вимоги і бути одночасно максимально економічним.

"Правила влаштування електроустановок" [12] рекомендують починати процес вибору роду струму з двигунів змінного струму.

"...V-3-11. Для приводу механізмів, що не потребують регулювання частоти обертання, незалежно від їхньої потужності, рекомендується застосовувати електродвигуни синхронні або асинхронні з короткозамкненим ротором.

Для приводу механізмів, що мають важкі умови пуску або роботи або потребують зміни частоти обертання, слід застосовувати електродвигуни з найбільш простими та економічними методами пуску або регулювання частоти обертання, можливими в даній установці.

V-3-14. Електродвигуни постійного струму допускається застосовувати лише у випадках, коли електродвигуни змінного струму не забезпечують необхідних характеристик механізму або економічні..."

Для нерегульованого приводу вибір типу двигуна є простим. Двигуни змінного струму простіші за конструкцією, вартість їх нижча, обслуговування теж вимагає менших витрат. При повторно-короткочасному режимі роботи з частими пусками та гальмуваннями раціонально використовувати двигуни підвищеного ковзання.

Для регульованого приводу завдання вибору типу приводу вирішується складніше. Залежно від діапазону та плавності регулювання швидкості вимог до якості перехідних процесів можуть бути застосовані як системи реостатного регулювання швидкості, так і системи з індивідуальними перетворювачами. При глибокому регулюванні швидкості найчастіше питання вирішується на користь приводів постійного струму. Однак конкурентними за своїми властивостями є приводи з частотним та частотно-струмовим управлінням. Переваги приводів з асинхронними двигунами – простота конструкції та підвищена надійність двигунів, можливість їх виготовлення у потоковому виробництві.

Перешкодою до швидкого впровадження частотно-регульованих приводів є складність систем керування, що призводить до недостатньої надійності їхньої роботи та підвищеної вартості. Поява на світовому ринку частотно-регульованих електроприводів з мікропроцесорним керуванням підвищує їхню надійність, але вартість їх не знижується.

Через обмеженість часу, відведеного виконання курсового проекту, рід струму і тип електроприводу може задаватися викладачем-керівником проекту у складі варіантів, застосовуваних нині. Варіант повинен забезпечувати виконання заданих технологічних вимог щодо швидкостей руху виконавчого органу робочої машини, часу роботи, прискорень тощо.

У цьому розділі курсового проекту наводяться переваги варіанта електроприводу, що розробляється, суттєві для заданої робочої машини. Там же зазначаються і недоліки прийнятого варіанта електроприводу.

7. ПОПЕРЕДНИЙ ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Вибір двигуна для проектного електроприводу включає:

- вибір конструкції (виконання) двигуна;
- вибір двигуна по швидкості;
- вибір двигуна за потужністю.

При виборі двигуна за конструктивним виконанням необхідно враховувати режим роботи електроприводу та умови експлуатації обладнання, під яким і слід розуміти умови навколишнього середовища (вміст пилу, корозійно-активних елементів, вибухо- та пожежонебезпечних сумішей тощо), вплив кліматичних факторів тощо .д.

Вибір двигуна за конструктивним виконанням полягає у застосуванні в проектному електроприводі двигуна, що підходить за способом захисту від впливу навколишнього середовища (закритий, захищений і т.д.), способом

вентиляції (з самовентиляцією, з незалежною вентиляцією і т.д.), за наявності або відсутності вбудованого тахогенератора та інших конструктивних особливостей, що вказуються в каталогах та довідниках на електричні машини.

Вибір двигуна за швидкістю повинен за відомої кінематичної схемою робочої машини забезпечити необхідні швидкості технологічного процесу. При цьому попередньо має бути намічено спосіб регулювання швидкості двигуна, що забезпечує найкращі техніко-економічні показники.

Основною швидкістю руху електроприводу називатимемо швидкість на природній механічній характеристиці при номінальній напрузі, частоті, потоці двигуна. Так, якщо робочий хід (при зниженій швидкості) виконується на природній характеристиці, а зворотний хід (на підвищеній швидкості) – при ослабленому потоці, то основною швидкістю буде швидкість робочого ходу, а обрана система електроприводу забезпечує двозонне регулювання швидкості. При однозонному регулюванні швидкості (реостатному, якірному) основною швидкістю буде швидкість на природній характеристиці. При реостатному регулюванні на основній швидкості виконуватиметься зворотний хід, а робочий хід – на зниженій швидкості з введеними резисторами в силовому ланцюзі.

Вибір двигуна за потужністю проводиться, як правило, за критерієм нагрівання з подальшою перевіркою перевантажувальної здатності. Для використання критерію нагрівання необхідно знати навантаження двигуна, які залежать від параметрів двигуна. У зв'язку з цим доводиться робити спочатку попередній вибір двигуна, розраховувати для нього навантаження при заданих умовах роботи електроприводу, а потім перевіряти попередньо обраний двигун за критеріями нагріву, здатності перевантаження і за умовами пуску.

Попередній розрахунок потужності двигуна проводиться приблизно, оскільки на даному етапі проектування невідоме повне навантаження двигуна. За підсумками вихідних даних може бути досить близько розраховані лише статичні навантаження. Динамічні навантаження, які значною мірою залежать від параметрів двигуна, поки що не відомі.

Найбільш простий метод попереднього розрахунку потужності двигуна заснований на обліку лише статичних навантажень. При цьому для еквівалентування навантаження кількох ділянок навантажувального графіка (розрізняються як значення сил опору, так і швидкостями руху робочої машини) використовується метод середньоквадратичного моменту. Зі сказаного ясно, що такий розрахунок не може дати точного результату, виходить лише орієнтовне значення потужності двигуна, що підлягає подальшому перевірці.

При завданні допустимого прискорення виконавчого органу робочої машини представляється можливим на стадії попереднього розрахунку потужності двигуна визначити не тільки статичні навантаження, а й частина

динамічних навантажень електроприводу, обумовлених змінами швидкості мас робочої машини, що рухаються.

За підсумками вихідних даних робочої машини розраховують і будують залежності швидкості робочої машини від часу $v(t)$. Ділянки відрізняються значеннями статичних навантажень та моментів інерції. На основі заданих шляхів переміщення a , встановленої швидкості v_y та допустимого прискорення w розраховують [8-11]:

– час пуску t_{Π} до швидкості, що встановилася, з допустимим прискоренням, гальмування t_{Γ} від швидкості, що встановилася, до зупинки

$$t_{\Pi} = t_{\Gamma} = \frac{t_y}{a}; \quad (7.1)$$

– шлях, що проходить робоча машина, за час пуску (гальмування)

$$a_{\Pi} = a_{\Gamma} = \frac{t_y^2}{2w}; \quad (7.2)$$

– час встановленого режиму руху зі швидкістю v_y

$$t_y = a_{\Gamma} = \frac{a - (a_{\Pi} + a_{\Gamma})}{v_y}. \quad (7.3)$$

Отримані залежності $v(t)$ є графічне завдання на проектування електроприводу і на завершальному етапі проектування дозволять оцінити якість виконання технологічних вимог. Крім того, вони використовуються для побудови графіків статичних та динамічних моментів робочої машини.

При побудові залежностей $v(t)$ слід враховувати напрямок руху робочої машини. При русі у вантажному режимі (основному технологічному режимі даної робочої машини) приймають $v > 0$. При русі в порожньому (поворотному) режимі відповідно $v < 0$. З урахуванням зазначених знаків швидкості приймають знаки прискорення w при пуску та гальмуванні у вантажному та порожньому режимах.

Статичні опори руху в робочих машинах, представлених у даному посібнику, створюються силами тертя ковзання в підшипниках, в гвинтовій передачі, при поступальному русі тіла горизонтальною площиною, силами тертя кочення коліс по рейках, тіла по роликах і т.п., силою тяжкості тіл, що піднімаються і опускаються.

У розділі 4 даних вказівок наведено формули для розрахунку статичних моментів, створюваних при дії зазначених сил опору робочих машинах. Для конкретної робочої машини визначають основні робочі зусилля, місця

застосування сил тертя і, використовуючи відповідні формули, розраховують статичні моменти на валу робочого органу $M_{po.cm}$ для всіх режимів роботи.

Для визначення динамічних моментів робочої машини розраховуються моменти інерції робочої машини (робочого органу):

$$J_{PO} = J_1 + J_2 + \dots + J_n + (m_1 + m_2 + \dots + m_n) \frac{D^2}{4}, \quad (7.4)$$

де J_1, J_2, \dots - моменти інерції елементів робочої машини, що обертаються, кгм^2 ;

m_1, m_2, \dots - маса поступово рухомих частин, кг ;

D - діаметр колеса (барабану, зірочки, шківів і т.п.), що знаходиться на вихідному валу редуктора і перетворює обертання валу в поступальний рух робочої машини, м .

При заданій величині припустимого прискорення w для кожного режиму робочої машини визначаються динамічні моменти

$$M_{po.дин} = J_{po} \frac{2 \cdot w}{D}. \quad (7.5)$$

Повний момент робочої машини

$$M_{po} = M_{po} + M_{po.дин}. \quad (7.6)$$

Знаки повного моменту та його складових залежить від напрямку руху та режиму роботи (пуск, гальмування).

Результати розрахунків кожної ділянки руху наводять у табл. 12.1.

За результатами розрахунків з урахуванням часу пуску, гальмування, руху, що установився, будують навантажувальну діаграму моментів робочої машини для кожного режиму роботи (див. рис. 7.1).

На підставі побудованої навантажувальної діаграми моменту робочої машини можна розрахувати середньоквадратичне значення моменту:

$$M_{сеп.кв} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m M_k^2 \cdot t_k}{\sum_{k=1}^m t_k}}, \quad (7.7)$$

у якому враховані як статичні навантаження, а й частина динамічних навантажень.

Тут M_k - момент двигуна на k -ій ділянці ($k = 1, \dots, m$), де під ділянкою розуміється проміжок часу, протягом якого відбувається розгін, або гальмування, або робота з постійною швидкістю; t_k - тривалість k -ої ділянки.

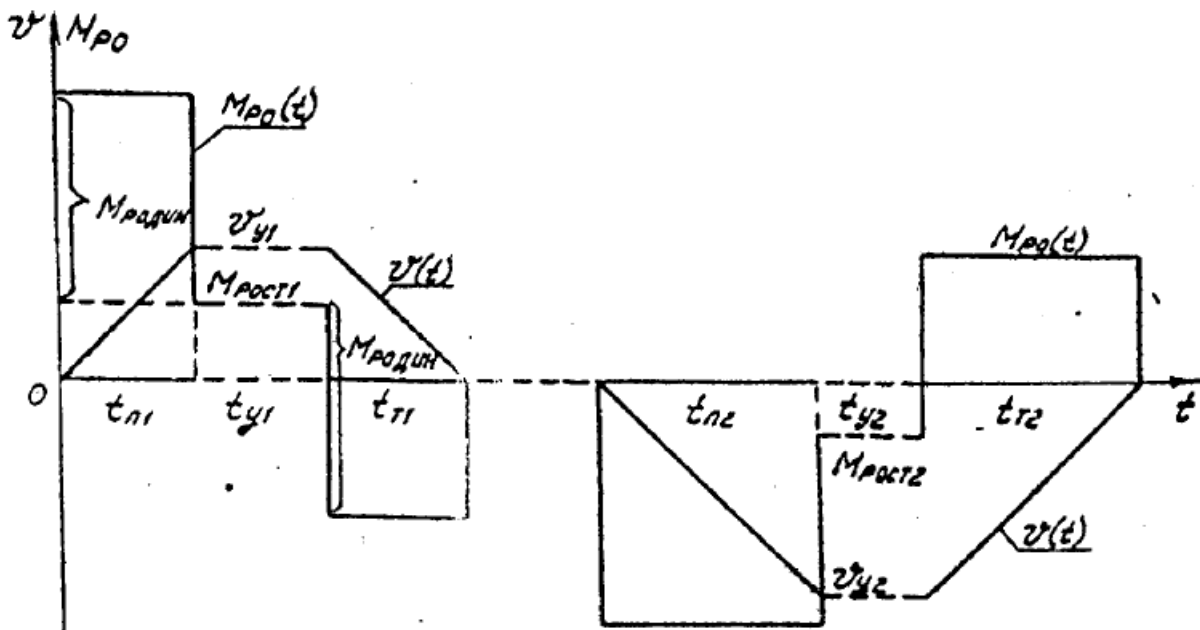


Рис. 7.1 - Навантажувальні діаграми швидкості та моментів робочої машини

При цьому потужність двигуна може бути визначена за співвідношенням

$$P_{\text{ДВ}} = k_1 \cdot M_{\text{сер.кв}} \cdot \frac{2v_0}{D} \sqrt{\frac{TB_{\phi}}{TB_{\text{кат}}}}, \quad (7.8)$$

обумовлені елементами електроприводу, що обертаються (двигун, редуктор), а також втрати потужності в редукторі. Величина k_1 залежить від відношення часу перехідних процесів до часу руху електроприводу, а також від відношення максимальних моментів робочої машини до статичних моментів. Для робочих машин, представлених у цьому посібнику, коефіцієнт k_1 може становити від 1,3 до 1,5;

v_0 – основна швидкість руху, м/с;

D – діаметр шестерні вихідного валу редуктора, м;

PB_{ϕ} - фактичне значення відносної тривалості включення проектованого електроприводу;

$TB_{\text{кат}}$ - найближче до TB_{ϕ} каталожне значення відносної тривалості включення для електродвигунів обраної серії.

Фактичне значення відносної тривалості включення TB_{ϕ} розраховується за тривалістю роботи t_k на всіх m ділянках руху і заданому часу циклу

$$t_{\text{ц}} = 3600/z, \quad (7.9)$$

де z - число циклів роботи машини на годину;

$$PB_{\phi} = \frac{1}{t_{ц}} \cdot \sum_{k=1}^m k_k . \quad (7.10)$$

Тривалість роботи t_k на кожній k -ій ділянці визначено вище.

Для повторно короткочасного режиму роботи слід вибирати двигуни спеціальних серій, призначених для цього режиму (режим роботи $S3$). Найбільш відома краново-металургійна серія, в якій порівняно з двигунами загальнопромислової серії:

- посилені частини, що швидко нагріваються (колектор - в двигунах постійного струму, посилені обмотки статора і ротора асинхронних двигунів - витримують струми короткого замикання);

- за рахунок зменшення діаметра ротора (якоря) знижено моменти інерції;

- збільшена перевантажувальна здатність двигунів до 3...4 значень номінального моменту.

Двигуни цієї серії (постійного струму – типу Д, змінного струму – типу 4МТФ(Н)) мають і інший спосіб нормування, при якому в каталозі вказується допустиме навантаження на валу при різних значеннях $TB_{кат} = 15, 25, 40, 60, 100\%$. Наводяться в каталогах також і каталожні криві $M, I, \cos \varphi_1 = f(S)$ – для асинхронних двигунів та $M, n, \eta = f(I)$ – для двигунів постійного струму. Каталожні дані деяких двигунів наведено у [13-15].

Двигун вибирається за каталогом таким чином, щоб значення його потужності при $TB_{кат}$ було б або кілька більше потужності $P_{дв}$, розрахованої за формулою (7.8).

Для обраного за каталогом двигуна в записці пояснення наводяться всі каталожні дані, розраховується перевантажувальна здатність і визначається максимально-допустиме значення струму. Для двигунів краново-металургійної серії, що працюють у повторно-короткочасному режимі, номінальними даними (P_n, ω_n, I_n тощо) є каталожні дані при $TB_{кат} = 40\%$. Ці дані використовуються в подальших розрахунках характеристик та перехідних режимів електроприводу.

Для вибору електродвигунів виробничих механізмів необхідно визначити статичні та динамічні навантаження. Статичні навантаження електродвигунів виробничих механізмів, які приведені в даному курсовому проекті, створюються силами статичного опору, наприклад ваги та тертя. При визначенні потужності та виборі електродвигунів виникає необхідність в приведенні моментів системи електродвигун-виробничий механізм до валу двигуна.

7.1. Розрахунок потужності електродвигуна підйомної лебідки мостового крану. Робота механізму підйомної лебідки складається з наступних етапів: підйом вантажу, гальмівний спуск вантажу, підйом порожнього

вантажопідйомного пристрою, гальмівний спуск вантажопідйомного пристрою. Тому при розрахунку потужності двигуна слід розрахувати статичну потужність на кожному етапі.

Статична потужність, приведена до валу електродвигуна, при підйомі вантажу, кВт

$$P_C = \frac{(m_{\text{ном}} + m_0) \cdot g \cdot v}{10^3 \cdot \eta_{\text{мех}}}, \quad (7.11)$$

де $m_{\text{ном}}$ – маса корисного вантажу, кг; m_0 – маса підвісу і тари, кг; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; v – швидкість підйому вантажу, м/с; $\eta_{\text{мех}}$ – ККД підйомного механізму.

Статична потужність, приведена до валу електродвигуна, при підйомі порожнього вантажопідйомного пристрою, кВт

$$P_{C0} = \frac{m_0 \cdot g \cdot v}{10^3 \cdot \eta_{\text{мех}}}. \quad (7.12)$$

Статична потужність при гальмівному спуску вантажу, кВт

$$P_{C.\text{сп}} = \frac{(m_{\text{ном}} + m_0) \cdot g \cdot v}{10^3 \cdot \eta_{\text{мех}}} \cdot \eta_1, \quad (7.13)$$

де $\eta_1 = 2 - 1/\eta_{\text{мех}}$ – ККД кранового механізму при гальмівному спуску вантажів.

Статична потужність при гальмівному спуску порожнього вантажопідйомного пристрою, кВт

$$P_{C.\text{сп}0} = \frac{m_0 \cdot g \cdot v}{10^3 \cdot \eta_{\text{мех}}} \cdot \eta_1. \quad (7.14)$$

Час роботи двигуна при підйомі та опускання вантажу, с

$$t_1 = t_2 = \frac{H}{v}, \quad (7.15)$$

де H – висота підйому, м.

Час роботи двигуна, с

$$\Sigma t_p = 2t_1 + 2t_2. \quad (7.16)$$

Час циклу, с

$$t_{\text{ц}} = \frac{\Sigma t_p}{\text{ТВ}\%} \cdot 100\%. \quad (7.17)$$

Попередньо розрахована потужність двигуна, кВт

$$P_{сер} = \frac{K_3}{\sum t_p} [t_1 \cdot (P_c + P_{c0}) + t_2 \cdot (P_{c.сc} + P_{c.сn0})], \quad (7.18)$$

де $K_3 = 1,1 \div 1,3$ – коефіцієнт запасу.

Перераховуємо потужність на стандартну ТВ.

$$P'_{сер} = P_{сер} \cdot \sqrt{\frac{TB\%}{TB_{cm}\%}}. \quad (7.19)$$

За каталогом [13-15] обирають двигун.

7.2. Розрахунок потужності електродвигуна механізму підйому баштового крану. Розрахунок потужності електродвигуна механізму підйому баштового крану виконується за методикою, приведеною в п. 7.1.

7.3. Розрахунок потужності електродвигуна механізму підйому козлового крану. Розрахунок потужності електродвигуна механізму підйому вантажу козлового крану виконується за методикою, приведеною в п. 7.1.

7.4. Розрахунок потужності електродвигуна електропривода механізму руху моста (візка, ферми) піднімального крану. Робота механізму руху моста (візка, ферми) підйомного крану складається з наступних етапів:

- рух навантаженого моста (візка, ферми);
- рух моста (візка, ферми) без вантажу.

Статична потужність при русі моста (візка, ферми) з вантажем, кВт

$$P_{C.сп} = \frac{k \cdot (m_{ном} + m_0) \cdot (\mu \cdot r + f) g \cdot v}{10^3 \cdot R_k \cdot \eta_{мех}}, \quad (7.20)$$

де $k = 1,5$ – коефіцієнт, що ураховує тертя реборд ходових коліс; $m_{ном}$ – вантажопідйомність крана, кг; m_0 – маса моста (візка, ферми) з обладнанням, кг; $\mu = 0,1$ – коефіцієнт тертя ковзання в підшипниках; r – радіус вісі (цапфи) колеса, м; $f = 0,002$ – коефіцієнт тертя кочення ходових коліс; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; v – швидкість руху, м/с; R_k – радіус ходового колеса, м; $\eta_{мех}$ – ККД механізму руху.

Статична потужність при пересуванні моста (візка, ферми) без вантажу, кВт

$$P_{C.сп} = \frac{k \cdot m_0 \cdot (\mu \cdot r + f) g \cdot v}{10^3 \cdot R_k \cdot \eta_{мех}}. \quad (7.21)$$

Час роботи двигуна, с

$$t_p = \frac{t_{\text{ц}} \cdot TB\%}{100}, \quad (7.22)$$

де $t_{\text{ц}}$ – тривалість циклу, с.

Час роботи при русі моста (візка, ферми) з вантажем та моста (візка, ферми) без вантажу, с

$$t_1 = t_2 = \frac{t_p}{2}. \quad (7.23)$$

Попередньо розрахована потужність двигуна, кВт

$$P_{\text{сер}} = \frac{K_3}{t_p} [t_1 \cdot P_c + t_2 \cdot P_{c0}], \quad (7.24)$$

де $K_3 = 1,1 \div 1,3$ – коефіцієнт запасу.

Перераховується потужність на стандартну TB та за каталогом обирається двигун. Технічні данні двигунів приведені в [13-15].

8. ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕДАЧНОГО ЧИСЛА І ВИБІР РЕДУКТОРА

Передатне число редуктора визначається за номінальною швидкістю обертання обраного двигуна ω_n та основною швидкістю руху виконавчого органу v_0 за формулою

$$J_p = \frac{\omega_n \cdot D}{2 \cdot v_0} \quad (8.1)$$

де D - діаметр колеса (барабану, ролика, шківів і т.п.), що знаходиться на вихідному валу редуктора і перетворює обертання валу в поступальний рух виконавчого органу робочої машини.

Редуктор вибирають за довідником [9-11], виходячи з необхідного передавального числа, заданого значення номінальної потужності (або моментів на тихохідному та швидкохідному валу) та швидкості обраного двигуна з урахуванням характеру навантаження (режиму роботи) РО, для якого проектується електропривод.

Вибраний редуктор повинен мати передатне число, що дорівнює або дещо менше розрахункового значення. При передавальному числі, що перевищує розрахункове значення, швидкість на валу робочого органу не досягне заданого значення, що призведе до зниження продуктивності робочої машини.

Режим роботи редуктора для робочих машин, що розглядаються в даному посібнику, слід приймати "важкий".

9. ПРИВЕДЕННЯ СТАТИЧНИХ МОМЕНТІВ ДО ВАЛУ ДВИГУНА

На етапі попереднього розрахунку потужності електродвигуна за заданими технічними показниками робочої машини (розділ 8) було розраховано статичні та динамічні моменти робочої машини. Після вибору двигуна та редуктора, коли відомі передатне число, коефіцієнт корисної дії ККД редуктора, статичні моменти робочої машини, наведені до валу двигуна, розраховуються за формулою

$$M_{pc} = \frac{M_{po.cm}}{J_p}. \quad (9.1)$$

З урахуванням втрат у редукторі статичні моменти на валу розраховують залежно від режиму електроприводу.

Статичний момент на валу у руховому режимі

$$M_{bc} = M_{pc} / \eta_p. \quad (9.2)$$

де η_p - ККД редуктора.

При роботі електроприводу в гальмівних режимах втрати в редукторі спричиняють зменшення навантаження двигуна, при цьому моменти на валу визначають за формулою

$$M_{bc} = M_{pc} \cdot \eta_p. \quad (9.3)$$

У проекті допускається розраховувати наведені моменти до валу двигуна приблизно, приймаючи в розрахунках номінальне значення коефіцієнта корисної дії редуктора, що вказується в каталогах і довідниках по редукторах [9-11]. Більш точні результати розрахунків можна одержати під час використання методу поділу втрат у передачі [9-11].

При уточнених розрахунках перехідних режимів роботи електроприводу, що встановилися, необхідно також враховувати момент втрат холостого ходу (момент постійних втрат) двигуна ΔM_x , який покривається за рахунок електромагнітного моменту двигуна.

Таким чином, наведені статичні моменти системи електропривод – робоча машина розраховують для кожної ділянки з урахуванням режиму роботи електроприводу за формулою

$$M_c = M_{bc} + \Delta M_x. \quad (9.4)$$

При цьому в статичному моменті враховуються не тільки сили опору руху в робочій машині, але також втрати в редукторі, і механічні втрати двигуна.

10. ПРИВЕДЕННЯ МОМЕНТІВ ІНЕРЦІЇ І КОЕФІЦІЄНТІВ ЖОРСТКОСТІ ДО ВАЛА ДВИГУНА

Сумарний наведений до валу двигуна момент інерції системи може бути розрахований за співвідношенням

$$J = \delta \cdot J_d + J_{пр}, \quad (10.1)$$

де J_d - момент інерції ротора двигуна;

δ - коефіцієнт, що враховує момент інерції інших елементів електроприводу (муфт, гальмівного шківів, редуктора та ін);

$J_{пр} = J_{PO} / J_p^2$ - момент інерції виконавчих органів робочої машини, що рухаються, і пов'язаних з ними рухомих мас (вантажів, заготовок і т.п.).

У проекті допускається розраховувати момент інерції електроприводу приблизно, приймаючи у формулі (10.1) коефіцієнт $\delta = 3 \dots 1,5$.

Для можливості обліку впливу пружностей у механізмі в кожному варіанті завдання зазначена крутильна жорсткість C_k , віднесена до робочого валу, або лінійна жорсткість C_l механізму, віднесена до виконавчого органу, що поступально рухається.

Приведену до валу двигуна жорсткість пружного механічного зв'язку $C_{пр}$ визначають через значення крутильної жорсткості робочого валу (пружної муфти) за формулою:

$$C_{пр} = C_k / J_p^2, \quad (10.2)$$

через значення лінійної жорсткості – за такою формулою:

$$C_{пр} = C_l \cdot \frac{D^2}{4 \cdot J_p^2}. \quad (10.3)$$

Приведення моментів інерції і коефіцієнтів жорсткості до валу двигуна закінчується підготовка даних до подальших розрахунків електроприводу. Доцільно у табл. 12.1 для кожної ділянки роботи електроприводу записати значення швидкості двигуна

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot J_p \quad (10.4)$$

наведеного статичного моменту M_c , сумарного наведеного моменту інерції системи J .

У таблицю, в рядок $M_{\text{доп.уск}}$, необхідно включити також необхідні пускові $M_{\text{п}}$ та гальмівні $M_{\text{г}}$ моменти двигуна, при яких забезпечується можливість розгону та гальмування електроприводу із заданим допустимим прискоренням:

$$M_{\text{дин}} = J \frac{2 \cdot w \cdot J_p}{D}, \quad (10.5)$$

$$M_{\text{п}} = M_c + M_{\text{дин}}, \quad (10.6)$$

$$|M_{\text{г}}| = |M_{\text{дин}}| - M_c. \quad (10.7)$$

Якщо момент $M_{\text{доп.уск}}$ більше максимального допустимого моменту двигуна, то прискорення доводиться знижувати, що спричинить зменшення продуктивності робочої машини, або вибрати двигун більшої потужності, що забезпечує необхідне прискорення електроприводу.

Для наближеного розрахунку часу перехідного процесу оцінюють середній момент двигуна $M_{\text{ср}}$:

– при реостатному запуску

$$M_{\text{ср}} = \frac{M_n + 1,2 \cdot M_c}{2}; \quad (10.8)$$

– при динамічному гальмуванні

$$M_{\text{ср}} = \frac{M_z}{2}; \quad (10.9)$$

– при гальмуванні проти вмиканням

$$M_{\text{ср}} = M_z \frac{|\omega_0| + \frac{\omega_{\text{ноч}}}{2}}{|\omega_0| + \omega_{\text{ноч}}}. \quad (10.10)$$

При живленні від перетворювача із задатчиком інтенсивності середній момент двигуна можна прийняти рівним моменту, допустимого прискорення:

– при пуску

$$M_{\text{ср}} = M_n; \quad (10.11)$$

– при гальмуванні

$$M_{\text{ср}} = M_z. \quad (10.12)$$

11. ПОБУДУВАННЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ДІАГРАМ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Прийнято розрізняти навантажувальні діаграми механізму і двигуна. Формули для розрахунку потужності і моменту виробничих механізмів визначаються специфікою їх роботи.

11.1 Розрахунок навантажувальної діаграми підйомної лебідки. Кутова швидкість обертання робочого органу, 1/с

$$\omega_{PO} = \frac{v_{po}}{R_{бар}}, \quad (11.1)$$

де $R_{бар}$ – радіус барабана, м.

Кутова швидкість обертання електродвигуна, 1/с

$$\omega_n = \omega_{дв} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_n}{60} = \frac{\pi \cdot n_n}{30}. \quad (11.2)$$

Передавальне відношення редуктора

$$i_p = \frac{\omega_n}{\omega_{PO}}. \quad (11.3)$$

Статичний момент при підйомі вантажу, Нм

$$M_C = \frac{(m_{ном} + m_0) \cdot g \cdot R_{бар}}{i_p \cdot \eta_{мех}}. \quad (11.4)$$

Статичний момент при підйомі порожнього вантажопідйомного пристрою, Нм

$$M_{C0} = \frac{m_0 \cdot g \cdot R_{бар}}{i_p \cdot \eta_{мех}}. \quad (11.5)$$

Статичний момент при гальмівному спуску вантажу, Нм

$$M_{C.сп} = \frac{(m_{ном} + m_0) \cdot g \cdot R_{бар}}{i_p} \cdot \eta_1. \quad (11.6)$$

Статичний момент при гальмівному спуску порожнього вантажопідйомного пристрою, Нм

$$M_{C.cn0} = \frac{m_0 \cdot g \cdot R_{бар}}{i_p} \cdot \eta_1. \quad (11.7)$$

Момент інерції, приведений до валу двигуна, при підйомі вантажу, кг·м²

$$J_{\Sigma} = \delta \cdot J_{дв} + \frac{(m_{ном} + m_0) \cdot v^2}{\omega_H^2}, \quad (11.8)$$

де $\delta = 1,1 \div 1,3$ – коефіцієнт, що ураховує моменти інерції окремих ланок передавального механізму; $J_{дв}$ – момент інерції двигуна.

Момент інерції, приведений до валу двигуна, при підйомі без вантажу, кг·м²

$$J_{\Sigma} = \delta \cdot J_{дв} + \frac{m_0 \cdot v^2}{\omega_H^2}. \quad (11.9)$$

Час пуску при підйомі вантажу, с

$$t_{п1} = J_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_H}{M_{сеп.n} - M_C}. \quad (11.10)$$

Час пуску при підйомі порожнього вантажопідйомного пристрою, с

$$t_{п2} = J_{\Sigma 0} \cdot \frac{\omega_H}{M_{сеп.n} - M_{C0}}. \quad (11.11)$$

Час пуску при гальмівному спуску вантажу, с

$$t_{п3} = J_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_H}{M_{сеп.n} - M_{c.cn}}. \quad (11.12)$$

Час пуску при гальмівному спуску порожнього вантажопідйомного пристрою, с

$$t_{п4} = J_{\Sigma 0} \cdot \frac{\omega_H}{M_{сеп.n} - M_{c.cn0}}. \quad (11.13)$$

Час гальмування при підйомі вантажу, с

$$t_{г1} = J_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_H}{M_{сеп.n} + M_C}. \quad (11.14)$$

Час гальмування при підйомі порожнього вантажопідйомного пристрою, с

$$t_{r2} = J_{\Sigma 0} \cdot \frac{\omega_H}{M_{cep.n} + M_{C0}}. \quad (11.15)$$

Час гальмування при гальмівному спуску вантажу, с

$$t_{r3} = J_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_H}{M_{cep.n} + M_{c.cn}}. \quad (11.16)$$

Час гальмування при гальмівному спуску порожнього вантажопідйомного пристрою, с

$$t_{r4} = J_{\Sigma 0} \cdot \frac{\omega_H}{M_{cep.n} + M_{c.cn0}}. \quad (11.17)$$

Динамічний момент при пуску на підйом вантажу, Нм

$$M_{д1} = J_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_H}{t_{п1}}. \quad (11.18)$$

Динамічний момент при гальмуванні на підйом вантажу, Нм

$$M_{д2} = J_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_H}{t_{r1}}. \quad (11.19)$$

Динамічний момент при пуску на підйом порожнього вантажопідйомного пристрою, Нм

$$M_{д3} = J_{\Sigma 0} \cdot \frac{\omega_H}{t_{п2}}. \quad (11.20)$$

Динамічний момент при гальмуванні на підйом порожнього вантажопідйомного пристрою, Нм

$$M_{д4} = J_{\Sigma 0} \cdot \frac{\omega_H}{t_{r2}}. \quad (11.21)$$

Динамічний момент при пуску на гальмівний спуск вантажу, Нм

$$M_{д5} = J_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_H}{t_{п3}}. \quad (11.22)$$

Динамічний момент при гальмуванні на гальмівний спуск вантажу, Нм

$$M_{д6} = J_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_{н}}{t_{г3}}. \quad (11.23)$$

Динамічний момент при пуску на гальмівний спуск порожнього вантажопідйомного пристрою, Нм

$$M_{д7} = J_{\Sigma 0} \cdot \frac{\omega_{н}}{t_{п4}}. \quad (11.24)$$

Динамічний момент при гальмуванні на гальмівний спуск порожнього вантажопідйомного пристрою, Нм

$$M_{д8} = J_{\Sigma 0} \cdot \frac{\omega_{н}}{t_{г4}}. \quad (11.25)$$

Час усталеної роботи, с

$$t_{y1} = t_1 - t_{п1} - t_{г1}; \quad (11.26)$$

$$t_{y2} = t_1 - t_{п2} - t_{г2}; \quad (11.27)$$

$$t_{y3} = t_2 - t_{п3} - t_{г3}; \quad (11.28)$$

$$t_{y4} = t_2 - t_{п4} - t_{г4}. \quad (11.29)$$

Моменти на навантажувальній діаграмі, Нм

$$M_1 = M_{д1} + M_c;$$

$$M_2 = M_c;$$

$$M_3 = M_c - M_{д2};$$

$$M_4 = M_{д3} + M_{c0};$$

$$M_5 = M_{c0};$$

$$M_6 = M_{c0} - M_{д4};$$

$$M_7 = M_{д5} + M_{ссп};$$

$$M_8 = M_{ссп};$$

$$M_9 = M_{ссп} - M_{д6};$$

$$M_{10} = M_{д7} + M_{ссп0};$$

$$M_{11} = M_{ссп0};$$

$$M_{12} = M_{ссп0} - M_{д8}.$$

На основі розрахованих моментів $M_1 - M_{12}$ та відповідних часових інтервалів будується навантажувальна діаграма.

11.2 Розрахунок навантажувальної діаграми механізму підйому козлового крану. Розрахунок навантажувальної діаграми механізму підйому козлового крану виконується за методикою, приведену в п. 11.1.

11.3 Розрахунок навантажувальної діаграми механізму підйому баштового крану. Розрахунок навантажувальної діаграми механізму підйому баштового крану виконується за методикою, приведеною в п. 11.1.

11.4 Розрахунок навантажувальної діаграми механізму руху нормального мостового крану. При розрахунку навантажувальної діаграми використовуються формули (11.2)-(11.8).

Статичний момент при русі моста з вантажем, Нм

$$M_C = \frac{k \cdot (m_{\text{ном}} + m_0) \cdot (\mu \cdot r + f) g}{i_p \cdot \eta_{\text{мех}}}. \quad (11.30)$$

Статичний момент при пересуванні моста без вантажу, Нм

$$M_{C0} = \frac{k \cdot m_0 \cdot (\mu \cdot r + f) g}{i_p \cdot \eta_{\text{мех}}}. \quad (11.31)$$

Час пуску з вантажем, с

$$t_{\text{п1}} = J_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_{\text{н}}}{M_{\text{сеп.н}} - M_C}. \quad (11.32)$$

Час пуску без вантажу, с

$$t_{\text{п2}} = J_{\Sigma 0} \cdot \frac{\omega_{\text{н}}}{M_{\text{сеп.н}} - M_{C0}}. \quad (11.33)$$

Час гальмування з вантажем, с

$$t_{\text{г1}} = J_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_{\text{н}}}{M_{\text{сеп.н}} + M_C}. \quad (11.34)$$

Час гальмування без вантажу, с

$$t_{\text{г2}} = J_{\Sigma 0} \cdot \frac{\omega_{\text{н}}}{M_{\text{сеп.н}} + M_{C0}}. \quad (11.35)$$

Динамічний момент при пуску з вантажем, Нм

$$M_{\text{д1}} = J_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_{\text{н}}}{t_{\text{п1}}}. \quad (11.36)$$

Динамічний момент при гальмуванні з вантажем, Нм

$$M_{д2} = J_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_{н}}{t_{r1}}. \quad (11.37)$$

Динамічний момент при пуску без вантажу, Нм

$$M_{д3} = J_{\Sigma 0} \cdot \frac{\omega_{н}}{t_{п2}}. \quad (11.38)$$

Динамічний момент при гальмуванні без вантажу, Нм

$$M_{д4} = J_{\Sigma 0} \cdot \frac{\omega_{н}}{t_{r2}}. \quad (11.39)$$

Час усталеної роботи, с

$$t_{y1} = t_1 - t_{п1} - t_{r1}; \quad (11.40)$$

$$t_{y2} = t_2 - t_{п2} - t_{r2}. \quad (11.41)$$

Моменти на навантажувальній діаграмі, Нм

$$M_1 = M_{д1} + M_c;$$

$$M_2 = M_c;$$

$$M_3 = M_c - M_{д2};$$

$$M_4 = M_{д3} + M_{c0};$$

$$M_5 = M_{c0};$$

$$M_6 = M_{c0} - M_{д4}.$$

На основі розрахованих моментів M_1 – M_6 та відповідних часових інтервалів будується навантажувальна діаграма.

11.5 Розрахунок навантажувальної діаграми механізму руху козлового крана. Розрахунок навантажувальної діаграми механізму руху козлового крана виконується за методикою, приведеною в п. 11.4.

11.6 Розрахунок навантажувальної діаграми механізму руху баштового крана. Розрахунок навантажувальної діаграми механізму руху баштового крана виконується за методикою, приведеною в п. 11.4.

11.7 Розрахунок навантажувальної діаграми механізму руху вантажного візка підйомного крана. Розрахунок навантажувальної діаграми механізму руху вантажного візка підйомного крана виконується за методикою, приведеною в п. 11.4.

12. ПОПЕРЕДНЯ ПЕРЕВІРКА ДВИГУНА ПО ВИРОБНИЧОСТІ І НАГРІВУ

Цілями попередньої перевірки є:

- вивчення наближених способів оцінки часу перехідних процесів;
- уточнення навантажувальних діаграм моменту та швидкості двигуна з урахуванням моменту інерції попередньо обраного двигуна;
- зниження витрат часу виконання курсового проекту для випадку, коли попередньо обраний двигун не проходить по нагріванню.

Використовуючи вибрані вище значення пускових і гальмівних моментів, швидкостей режимів, що встановилися, і можливості обраної схеми керування двигуном, розраховують:

- час перехідних процесів

$$t_i = J \frac{\omega_c}{M_{сеп} - M_c}; \quad (12.1)$$

- кут повороту валу двигуна за час перехідного процесу

$$\alpha_i = \frac{\omega_c \cdot t_i}{2}; \quad (12.2)$$

- час роботи з швидкістю, що встановилася

$$t_y = \frac{\alpha - (\alpha_n - \alpha_2)}{\omega_c}; \quad (12.4)$$

де α - кут повороту валу двигуна, відповідний величині переміщення в даному режимі;

α_n, α_r – кут повороту валу двигуна за час пуску та гальмування,

На попередньому етапі розрахунку приймають, що момент двигуна під час перехідного процесу від початкового до кінцевого значення швидкості залишається незмінним, тобто. не враховуються зміна моменту в процесі пуску за правильною пусковою діаграмою при управлінні магнітного контролера, а також наростання та зниження моменту – при керуванні від тиристорних перетворювачів. Результати розрахунку зручно подати у вигляді таблиці (див. табл. 12.1).

Перевірка двигуна за продуктивністю полягає у порівнянні сумарного фактичного часу роботи електроприводу в циклі t_ϕ із заданим значенням часу роботи t_p у вихідних даних для проектування. Завдання щодо продуктивності має бути безумовно виконане, $t_\phi < t_p$.

Таблиця 12.1 – Попередній розрахунок навантажувальних діаграм

Ділянка руху	Рух з вантажем			Рух без вантажу		
	пуск	усталений рух	гальмування	пуск	усталений рух	гальмування
t , с						
a , м						
v , м/с						
$M_{ро.ст}$, кНм						
$J_{ро.ст}$, кгм ²						
$M_{ро.дин}$, кНм						
$M_{ро}$, кНм						
$M_{рс}$, Нм						
$M_{вс}$, Нм						
$M_{с}$, Нм						
$\omega_{с}$, рад/с						
$J_{пр}$, кгм ²						
J , кгм ²						
$M_{дин}$, Нм						
$M_{доп.уск}$, Нм						
$M_{сер}$, Нм						
t , с						
α , рад						

Попередня перевірка двигуна з нагрівання здійснюється за величиною середньоквадратичного моменту:

$$M_{сер.кв} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n k_i}} \leq M_{доп}; \quad (12.5)$$

$$M_{доп} = M_{кат} \sqrt{\frac{TB_{кат}}{TB_{\phi}}}; \quad (12.6)$$

$$TB_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i}{t_n} \cdot 100\%, \quad (12.7)$$

де $M_{кат}$ - момент двигуна при $TB_{кат}$, найближчому до TB_{ϕ} .

Для асинхронних двигунів, двигунів постійного струму послідовного збудження, режиму ослаблення поля двигуна незалежного збудження метод еквівалентного моменту дає значні похибки. Для цих двигунів слід величину допустимого нагріву моменту $M_{доп}$ знижувати на 15 ... 20%.

Якщо двигун проходить за умовами нагрівання $M_{\text{сер.кв}} \leq M_{\text{доп}}$, слід приступати до детального точного розрахунку обраного електроприводу.

Якщо двигун по нагріванню не проходить або значно не використовується, то переходять до вибору нового двигуна, потужність якого можна орієнтовно визначити за співвідношенням.

$$P_n = P_{\text{н.вибр}} \cdot \frac{M_{\text{сер.кв}}}{M_{\text{доп}}}, \quad (12.8)$$

де $P_{\text{н.вибр}}$ – номінальна потужність попередньо вибраного двигуна, кВт.

Навантажувальна діаграма електропривода є основою для перевірки попередньо обраного двигуна за нагріванням та перевантажувальною здібністю. Умови нагрівання двигуна визначаються за допомогою одного з методів еквівалентних величин.

На основі навантажувальної діаграми одним з методів еквівалентних величин (моменту, потужності або струму) можуть бути встановлені умови нагрівання двигуна. Для еквівалентних та номінальних величин вірно вибраного двигуна справедливими є такі нерівності

$$I_{\text{екв}} \leq I_n; M_{\text{екв}} \leq M_n; P_{\text{екв}} \leq P_n.$$

Якщо розрахункове значення $TB\%$ відрізняється від стандартного, то необхідно перерахувати еквівалентний момент на стандартне значення

$$M'_{\text{екв}} = M_{\text{екв}} \cdot \sqrt{\frac{TB\%}{TB_{\text{ст}}\%}}. \quad (12.9)$$

Перевірка двигуна за перевантажувальною здібністю здійснюється шляхом порівняння максимальних моментів з на основі наступної залежності:

$$M_{\text{нав.мах}} \leq M_{\text{мах}},$$

де $M_{\text{нав.мах}}$ – найбільший за робочий цикл момент навантажувальної діаграми;

$M_{\text{мах}}$ – найбільший припустимий момент для даного типа двигуна.

12.2 Розрахунок еквівалентного моменту електродвигуна підйомної лебідки мостового крану. Еквівалентний момент, Нм

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_{\text{п1}} + M_2^2 \cdot t_{\text{уст1}} + M_3^2 \cdot t_{\text{Г1}} + M_4^2 \cdot t_{\text{п2}} + M_5^2 \cdot t_{\text{уст2}} + M_6^2 \cdot t_{\text{Г2}} + M_7^2 \cdot t_{\text{п3}} + M_8^2 \cdot t_{\text{уст3}} + M_9^2 \cdot t_{\text{Г3}} + M_{10}^2 \cdot t_{\text{п4}} + M_{11}^2 \cdot t_{\text{уст4}} + M_{12}^2 \cdot t_{\text{Г4}}}{\beta \cdot (t_{\text{п1}} + t_{\text{п2}} + t_{\text{п3}} + t_{\text{п4}} + t_{\text{Г1}} + t_{\text{Г2}} + t_{\text{Г3}} + t_{\text{Г4}}) + t_{\text{уст1}} + t_{\text{уст2}} + t_{\text{уст3}} + t_{\text{уст4}}}}$$

де β - коефіцієнт погіршення тепловіддачі двигуна в перехідному режимі

$$\beta = \frac{\beta_0 + 1}{2};$$

$\beta_0 = 0,68$ – коефіцієнт, що ураховує погіршення умов тепловіддачі в нерухомому стані двигуна.

12.3 Розрахунок еквівалентного моменту електродвигуна механізму підйому баштового крану. Еквівалентний момент механізму підйому баштового крану розраховується за методикою, приведеною в п. 12.2.

12.4 Розрахунок еквівалентного моменту електродвигуна механізму підйому баштового крану. Еквівалентний момент механізму підйому баштового крану розраховується за методикою, приведеною в п. 12.2.

12.5 Розрахунок еквівалентного моменту електродвигуна механізму руху моста нормального мостового крану. Еквівалентний момент, Нм

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_{\text{П1}} + M_2^2 \cdot t_{\text{устр1}} + M_3^2 \cdot t_{\text{Г1}} + M_4^2 \cdot t_{\text{П2}} + M_5^2 \cdot t_{\text{устр2}} + M_6^2 \cdot t_{\text{Г2}}}{\beta \cdot (t_{\text{П1}} + t_{\text{П2}} + t_{\text{Г1}} + t_{\text{Г2}}) + t_{\text{устр1}} + t_{\text{устр2}}}},$$

де β - коефіцієнт погіршення тепловіддачі двигуна в перехідному режимі

$$\beta = \frac{\beta_0 + 1}{2};$$

$\beta_0 = 0,68$ – коефіцієнт, що ураховує погіршення умов тепловіддачі в нерухомому стані двигуна.

12.6 Розрахунок еквівалентного моменту електродвигуна механізму руху козлового крану. Еквівалентний момент механізму руху козлового крану розраховується за методикою, приведеною в п. 12.5.

12.7 Розрахунок еквівалентного моменту електродвигуна механізму руху баштового крану. Еквівалентний момент механізму руху баштового крану розраховується за методикою, приведеною в п. 12.5.

12.8 Розрахунок еквівалентного моменту електродвигуна механізму руху вантажного візка підйомного крану. Еквівалентний момент механізму руху вантажного візка крану розраховується за методикою, приведеною в п. 12.5.

13. ВИБІР ТИПУ (СИСТЕМИ) ЕЛЕКТРОПРИВОДУ І ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

На підставі вимог, що пред'являються до електроприводу, та аналізу результатів попередньої перевірки двигуна щодо продуктивності, нагрівання та забезпечення технологічних умов здійснюється вибір системи електроприводу.

На даному етапі повинен бути обґрунтований вибір системи, прийняті та обґрунтовані способи регулювання швидкості, способи пуску та гальмування електроприводу.

При виборі роду струму та типу електроприводу було ухвалено рішення про систему електроприводу. Вибір системи визначив головний напрямок подальших розрахунків.

1. Електродвигун отримує живлення від мережі постійної напруги (цехової мережі) й у забезпечення технологічних вимог здійснюється регулювання параметрів ланцюга двигуна (резисторів у ланцюгах обмоток).

2. Електродвигун отримує живлення від індивідуального перетворювача постійної напруги або частоти перетворювача.

Залежно від обраного типу електроприводу змінюються методи розрахунку характеристик електроприводу та способи забезпечення перехідних процесів відповідно до вимог технології робочої машини.

13.1 Технічні характеристики тиристорних електроприводів та перетворювачів. У регульованих електроприводах постійного струму як джерела живлення найчастіше використовуються тиристорні перетворювачі (керовані випрямлячі), що мають практично необмежену потужність, високий ККД і високу швидкодію при малій потужності керування. Тиристорні перетворювачі є універсальним засобом перетворення змінної напруги мережі живлення в регульовану постійну напругу. Розроблено та масово випускається широка номенклатура комплектних тиристорних електроприводів постійного струму [16], що складаються з узгоджених за своїми характеристиками складових елементів, вузлів та пристроїв електроприводу. Електроприводи випускаються одно-, дво- та багатодвигуновими з однозонним і двозонним регулюванням швидкості, нереверсивні та реверсивні з реверсом по ланцюгу якоря або ланцюга обмотки збудження, зі зворотним зв'язком по швидкості, ЕРС, напруги, положенню, потужності, моменту, натягу. До складу комплектного тиристорного електроприводу входять:

- електродвигун постійного струму з тахогенератором або без нього;
- тиристорний перетворювач для живлення ланцюга якоря двигуна;
- тиристорний перетворювач для живлення обмотки збудження;
- згладжуючий реактор у ланцюгу якоря двигуна (при необхідності);
- система керування електроприводом у складі тиристорного перетворювача (з боку якоря та обмотки збудження двигуна);
- комплект апаратів, приладів та пристроїв, що забезпечують оперативне керування, контроль стану, захист та сигналізацію електроприводу.

У проєкті вибираються електродвигун, силовий тиристорний перетворювач для живлення двигуна, силовий трансформатор для живлення

перетворювача (або струмообмежуючий реактор), реактор, що згладжує в ланцюгу постійного струму (при необхідності).

Живлення двигунів постійного струму передбачається від перетворювачів за трифазною мостовою схемою випрямлення з роздільним керуванням тиристорних груп [16]. Типові схеми реверсивних тиристорних перетворювачів постійного струму розглянуті у [17,18].

Вибір перетворювачів здійснюється за каталогами електротехнічної промисловості або за довідниками [17,18] на базі номінальних даних попередньо вибраного двигуна

$$U_{\text{нп}} \geq U_{\text{н}}; \quad I_{\text{нп}} \geq I_{\text{н}}.$$

При цьому вибирається тип перетворювача (комплектного електроприводу), визначається його номінальні дані, здатність перевантаження, схема випрямлення, габаритні розміри, наявність трансформатора (токообмежувального реактора), що згладжує дроселя.

Поряд з комплектним постачанням тиристорних електроприводів можливе постачання та окремо тиристорних перетворювачів для живлення двигунів та обмоток збудження генераторів та двигунів. Розроблено ряд тиристорних перетворювачів (агрегатів), призначених для електроприводів постійного струму. У тому й іншому випадку пристрої хоч і поставляються некомплектно але мають достатній набір типових елементів керування для реалізації найрізноманітніших систем автоматизованого електроприводу з урахуванням специфіки конкретних виробничих машин і механізмів.

Номінальний струм тиристорного перетворювача $I_{\text{дн}}$ збігається з номінальним струмом комплектного електроприводу $I_{\text{пн}}$ і повинен дорівнювати або бути більшим номінального струму двигуна ($I_{\text{дн}} > I_{\text{дв.н}}$). Номінальна випрямлена напруга перетворювача $U_{\text{дн}}$ і номінальна напруга електроприводу $U_{\text{пн}}$ (останнє дорівнює номінальній напрузі електродвигуна $U_{\text{пн}} = U_{\text{дв.н}}$) відповідають наведеним у табл. 13.1 значень.

Таблиця 13.1 – Співвідношення номінальної випрямленої напруги перетворювача і номінальної напруги електроприводу [16]

$U_{\text{пн}}, \text{В}$	110	220	440	600	750	900
$U_{\text{дн}}, \text{В}$	115	230	460	660	825	1050
$I_{\text{пн}} = I_{\text{дн}}, \text{А}$	10, 25, 50, 100, 200, 320, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3200, 4000, 5000, 6300, 8000, 10000, 1250					

Тиристорні електроприводи і перетворювачі зберігають свої номінальні параметри при зміні напруги мережі живлення 380 В на +10 або -15 % і мережі живлення 6 і 10 кВ на $\pm 10\%$. Допустимі зміни частоти мережі живлення ± 1 Гц.

Тиристорні електроприводи та тиристорні перетворювачі для електроприводів допускають роботу в тривалому та повторно-короткочасному режимах зі значними короткочасними навантаженнями. При цьому середньоквадратичне значення струму протягом циклу (не більше 10 хв) не повинно перевищувати номінального значення.

Тиристорний перетворювач постійного струму являє собою керований випрямний пристрій, що перетворює в загальному випадку m -фазну систему змінних (синусоїдальних) напруг у регульовану за величиною постійну вихідну напругу зі знакопостійним (нереверсивний перетворювач) або знакозмінним (реверсивний перетворювач) струмом навантаження. Вихідна напруга перетворювача формується з ділянок позитивних або негативних напівхвиль m -фазної системи напруги живлення і регулюється за рахунок зміни моменту включення (кута керування α) тиристорів щодо точки природної комутації.

Тиристорний перетворювач складається з силової частини та системи керування перетворювачем.

Силова частина тиристорного перетворювача складається з силового узгоджувального трансформатора або струмообмежувального (комутуючого) реактора при безпосередньому підключенні перетворювача до мережі, приладу випрямлення, комутуючої апаратури і згладжувального реактора в ланцюгу електродвигуна (рис. 13.1). У приводах малої потужності може бути однофазна система живлення, а також використовувати один загальний трансформатор з двома вторинними обмотками.

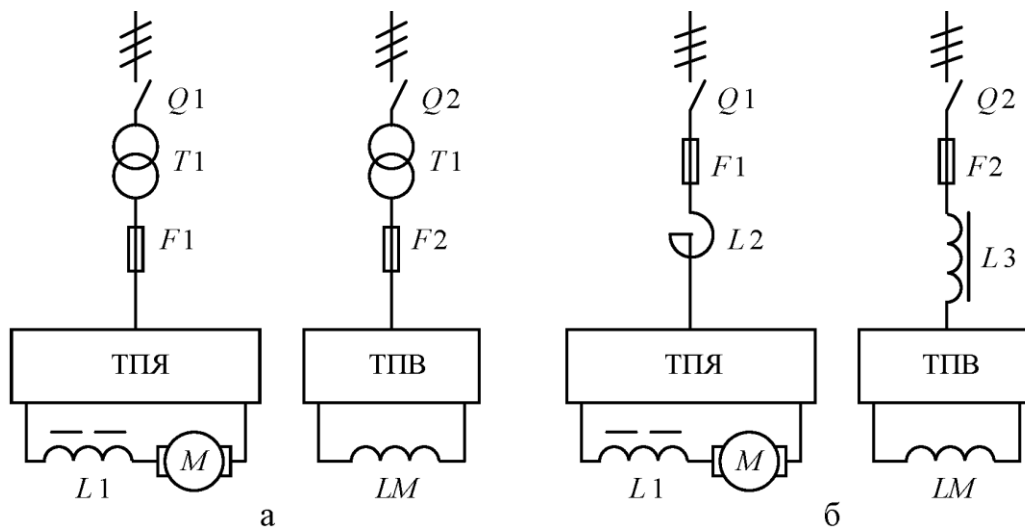


Рис. 13.1– Основні схеми підключення тиристорних електроприводів:
 а – через силовий трансформатор; б - через струмообмежуючий реактор

Узгоджувальний трансформатор (зазвичай знижуючий) призначений для узгодження напруг мережі та електродвигуна.

Струмообмежувальні реактори встановлюють, коли напруга мережі живлення відповідає необхідному значенню випрямленої напруги. Перетворювальний трансформатор і струмообмежуючий реактор обмежують швидкість наростання прямого струму (di/dt) тиристорів, величину і швидкість наростання струмів короткого замикання в аварійних режимах перетворювача і зменшують спотворення форми напруги живлення, викликані комутацією тиристорів, а також виключають взаємний вплив спільної мережі. Режим роботи перетворювального трансформатора відрізняється від режиму роботи звичайного трансформатора тим, що струм в обмотках перетворювального трансформатора має несинусоїдальну форму, тривалість його протікання менше, ніж у звичайному трансформаторі. У деяких схемах випрямлення, наприклад трифазної нульової, можливе постійне підмагнічування магнітопроводу трансформатора, що викликає необхідність завищення його потужності в порівнянні з потужністю навантаження або застосування складних схем з'єднання вентильних обмоток, наприклад, зигзаг для названої трифазної нульової схеми випрямлення. Крім того, напруга вторинних (вентильних) обмоток таких трансформаторів нестандартна та орієнтована на конкретну схему випрямлення.

Реактори, що згладжують, встановлюються для поліпшення коефіцієнта форми струму навантаження або, іншими словами, для зменшення пульсацій струму якоря двигуна, що погіршують його комутацію і викликають додаткові втрати в двигуні і додатковий його нагрівання, що погіршує використання двигуна по моменту і потужності. Крім того, включення реактора, що згладжує, в ланцюг випрямленого струму призводить до зменшення зони переривчастих струмів і швидкості наростання аварійного струму при коротких замикання в ланцюгу навантаження. У однофазних тиристорних електроприводах забезпечується значення коефіцієнта використання двигуна щонайменше 0,8, в трифазних - щонайменше 0,9.

Схеми керування випрямлячів діляться на прості: нульові (однотактні) та мостові (двотактні), однофазні та багатофазні, симетричні та несиметричні та складні, що складаються з паралельного або послідовного з'єднання простих схем. Основною схемою випрямлення у комплектних тиристорних електроприводах є трифазна мостова (6-ти пульсна) схема випрямлення ($m = 3$, $m = 6$). Ця схема використовується в діапазоні потужностей електродвигуна від одиниць до кількох тисяч кіловат. У мостовій схемі вентильні обмотки трансформатора не мають безпосереднього підключення до навантаження, тому вони можуть бути з'єднані за будь-якою схемою: трикутник (Δ) або зірка (Y) (рис. 13.2).

Струми у вентильних обмотках трансформатора протікають два рази за період напруги живлення в протилежних напрямках та їх середнє значення близько до нуля. Підмагнічування трансформатора відсутнє, та його магнітна система використовується за потужністю повністю.

Зміна напрямку протікання (реверс) випрямленого струму через навантаження перетворювача тиристора може здійснюватися контактним перемиканням полярності ланцюга навантаження при одному керованому випрямлячі або застосуванням двох керованих випрямлячів.

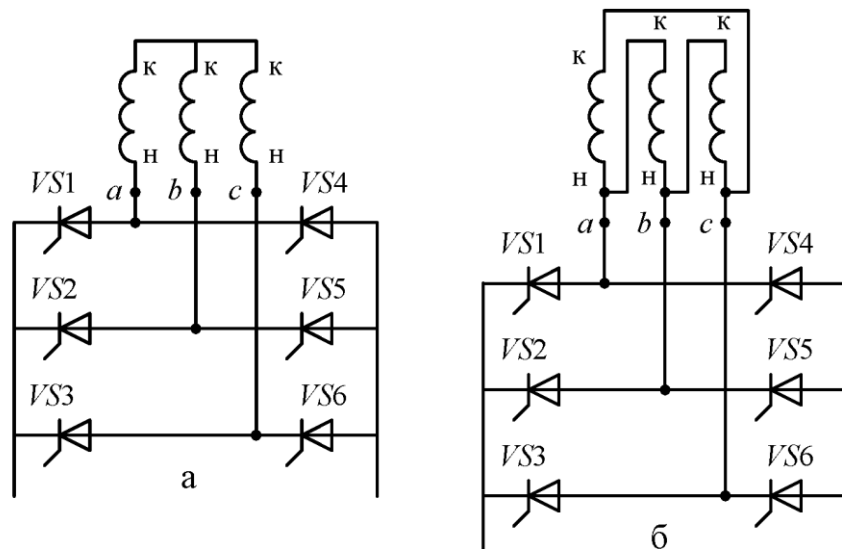


Рис. 13.2 - Трифазна мостова схема випрямлення:
a – з'єднання вентильних обмоток трансформатора у зірку; *б* - з'єднання вентильних обмоток трансформатора до трикутника

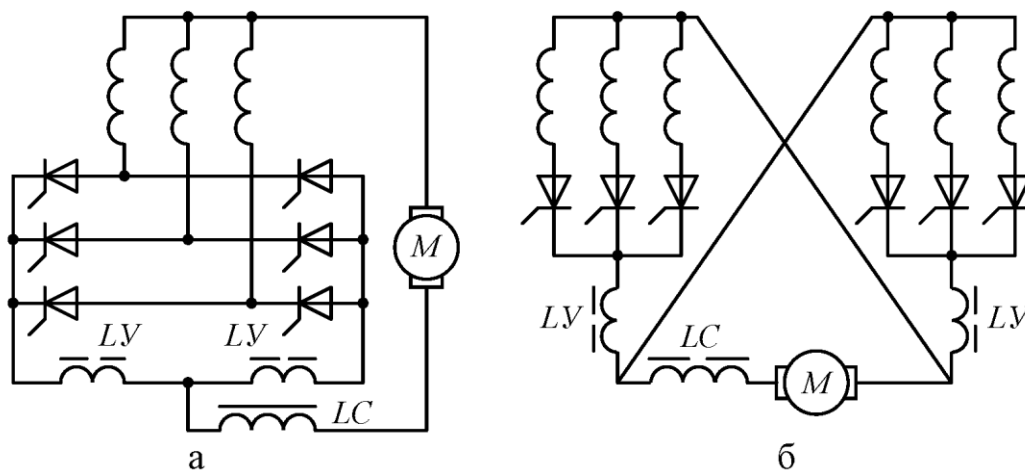


Рис. 13.3 – Силві схеми реверсивного тиристорного електроприводу на базі нульової схеми випрямлення:
a - зустрічно-паралельна; *б* – перехресна

Розроблено два способи керування вентиляними групами реверсивного перетворювача: спільне та роздільне. При спільному керуванні імпульси, що керують, подаються на обидві вентиляні групи одночасно (кут керування тиристорами першої групи $\alpha_1 < 90^\circ$, другий - $\alpha_2 > 90^\circ$ або навпаки). При цьому одна з них працює у випрямлювальному ($\alpha_1 < 90^\circ$), а інша ($\alpha_2 \geq 90^\circ$) – в інверторному режимі.

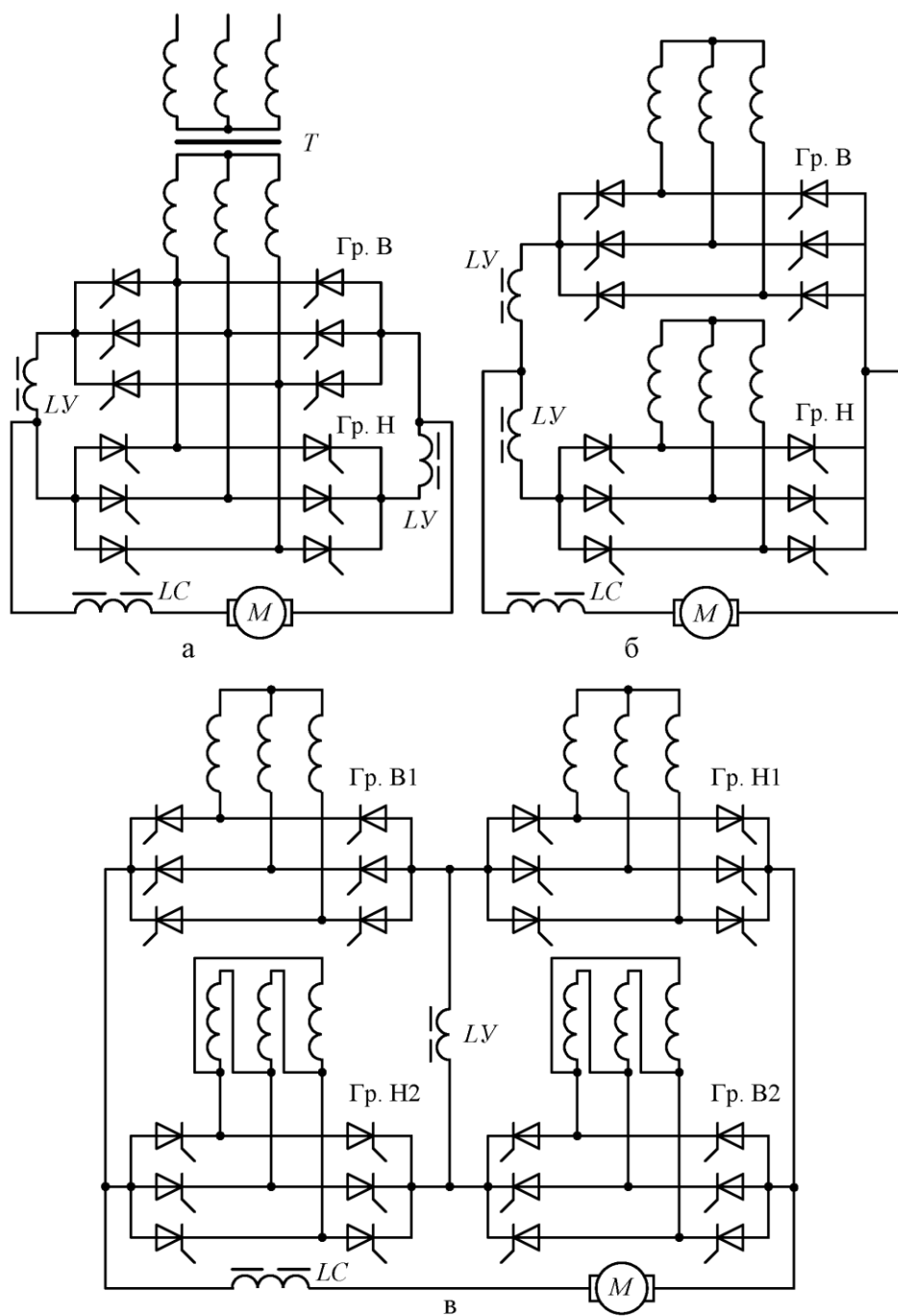


Рис. 13.4 - Силові схеми реверсивного тиристорного електроприводу:
 а - зустрічно-паралельна; б – перехресна; в - Н-схема;
 LY – реактор зрівняльний; LC - реактор, що згладжує

Внаслідок різниці миттєвих значень ЕРС між групами виникає зрівняльний струм у напрямку провідності тиристорів. Цей струм протікає через вентиляльні групи, минаючи навантаження. Вентильна група, що працює в інверторному режимі, є джерелом проти-ЕРС, що обмежує зрівняльний струм. У зустрічнопаралельній схемі та Н-схемі є два контури зрівняльного струму, у перехресній схемі - один, що спрощує побудову систем керування на її основі. Опір зрівняльного контуру малий, тому для обмеження зрівнювальних струмів у кожен контур включають хоча б один ненасичувальний або два зрівняльних реактора, що частково насичуються. Зрівнювальні реактори обмежують струм тільки у переривчастому або гранично-безперервному режимі зрівняльного струму, тому має виконуватися умова $\alpha_1 + \alpha_2 > 180^\circ$. У перехресній схемі величина індуктивності струмообмежувальних реакторів менша, ніж у зустрічно-паралельній. Тому у приводах із спільним керуванням реверсивним тиристорним перетворювачем переважно застосовувалася перехресна схема.

При роздільному керуванні вентиляльні групи працюють по черзі – окремо. Роздільна робота досягається подачею керуючих імпульсів тільки на тиристори вентиляльної групи, що забезпечує заданий напрямок струму, на тиристори іншої вентиляльної групи керуючі імпульси в цей час не подаються. Так як при роздільному керуванні в будь-який момент працює тільки одна з вентиляльних груп, можливість протікання зрівняльного струму виключається, не потрібна установка і зрівняльних реакторів. До системи керування реверсивного перетворювача пред'являється виключно жорстка вимога: вона не повинна допускати одночасної подачі керуючих імпульсів на обидві групи вентилів. Процес реверсу струму при роздільному керуванні відбувається наступним чином: зміною напруги працюючої вентиляльної групи струм навантаження зменшується до нуля, імпульси, що керують, знімаються з працюючої групи і після тимчасової паузи подаються на іншу групу.

13.2. Вибір перетворювача частоти. Живлення двигунів змінного струму може виконуватися від тиристорних і транзисторних перетворювачів частоти як з безпосереднім зв'язком НПЧ, що складаються з декількох керованих випрямлячів, підключених до мережі змінного струму, так і від дволанкових перетворювачів частоти з автономними інверторами ПЧІ, що здійснюють перетворення напруги струму, а потім трифазна напруга регульованої частоти [19]. Типові схеми тиристорних перетворювачів змінного струму розглянуті у [17,18]. Вибір типу перетворювачів залежить від частоти мережі живлення, необхідного діапазону зміни частоти на виході перетворювача, що визначається діапазоном зміни швидкості обертання двигуна, від потужності двигуна,

діапазону зміни навантаження на валу двигуна, наявності або відсутності реверсу, режимів роботи двигуна.

При мережній частоті 50 Гц і вихідних частотах 25...12,5 Гц і нижче будь-якого типу приводу доцільно використовувати перетворювач із безпосереднім зв'язком.

При вихідних частотах 50 Гц і нижче або вище за 50 Гц використовуються перетворювачі з автономними інверторами напруги АІН або струму АІС. Застосування АІС доцільно у приводах, які працюють із підтриманням заданої величини моменту. При широких діапазонах регулювання швидкості двигуна подібні перетворювачі використовуються лише у замкнених системах електроприводу.

Вибір перетворювачів здійснюється за довідниками [17,18], каталогами електротехнічної промисловості на основі номінальних даних попередньо обраного двигуна:

$$U_{\text{нпч}} \geq U_{\text{нл}};$$

$$I_{\text{нпч}} \geq I_{\text{нл}};$$

де $U_{\text{нл}}$, $I_{\text{нл}}$ – відповідно номінальна лінійна напруга та фазний струм статора двигуна;

$U_{\text{нпч}}$, $I_{\text{нпч}}$ – відповідно номінальна лінійна напруга та струм навантаження перетворювача частоти.

Діапазон зміни вихідної частоти перетворювача повинен бути не меншим за необхідний діапазон зміни частоти живлення двигуна.

На основі аналізу технічних характеристик сучасних перетворювачів частоти основних закордонних виробників, таких як Alien Bradly, Siemens, АВВ, Danfoss, Mitsubishi та ін. можна сформулювати наступні загальні вимоги, які ставляться кінцевим споживачем до перетворювальних пристроїв асинхронних електроприводів:

- напруга живлення - 3 ф, -380 В. 50 Гц або 1 ф, -220 В. 50 Гц;
- вихідна частота 0...400 Гц.

Алгоритми керування що реалізуються перетворювачами:

- традиційне частотне керування з квадратичною або лінійною U/f характеристикою з можливістю IR -компенсації та компенсації ковзання;
- векторне бездатчикове керування;
- векторне керування з датчиком швидкості.

В стандартній конфігурації електропривод має забезпечувати наступні мінімальні інтерфейсні можливості:

- кількість дискретних гальванічно-розв'язаних входів - 6;
- кількість аналогових входів 0...10 В - 1 канал. 4...20 мА - 1 канал;
- аналоговий вихід 0... 10 В;
- кількість виходів релейного типу - 2:

- гальванічно розв'язані інтерфейси зв'язку з системами верхнього рівня RS-485, CAN:

- вбудований ПІД-регулятор технологічного параметру;
- внутрішній ключ клампера на малих потужностях (до 15 кВт);
- можливість підключення фотоімпульсного датчика швидкості (енкодера);
- наявність джерел живлення +10 В та +24 В для обслуговування зовнішніх підключень аналогових та дискретних сигналів.

Перетворювач допускає роботу двигуна за номінальної швидкості з дворазовим струмом навантаження.

Промислові перетворювачі частоти з автономними інверторами комплектуються власними силовими трансформаторами, вибір яких у проекті не передбачається. Вихідна напруга подібних перетворювачів, як правило, стабілізована з високою точністю внутрішніми зворотними зв'язками, що дозволяє не враховувати внутрішній опір перетворювача при розрахунку механічних характеристик двигуна.

Перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком можуть мати власних силових трансформаторів. Для таких перетворювачів передбачається вибір трансформатора за умови забезпечення номінальних режимів роботи двигуна. Внутрішній опір перетворювача має бути враховано при розрахунку механічних характеристик двигуна.

Складність вибору перетворювача частоти для спільної роботи з електродвигуном полягає в тому, що номінальні режими роботи електродвигунів (S1 - S8), засновані на постійному часі нагрівання двигуна, що визначається десятками хвилин, не прийнятні для перетворювачів, постійна часу яких визначається десятками секунд.

Перетворювачі частоти спроектовані для тривалої роботи з номінальним струмом інвертора $I_{ін}$. Якщо номінальний струм протікає тривалий час (понад 60 с), то робоча температура блоку досягає максимально допустимого значення. Вище цього значення спрацьовує захист ($I^2 \cdot t$), що дозволяє перевантажувати перетворювач по струму навіть короткочасно. З цієї причини перетворювачі частоти в системах електроприводу, що мають короткочасні перевантаження двигуна, пов'язані з періодичними змінами швидкості або технологічними змінами моменту навантаження, повинні працювати з еквівалентним за цикл роботи струмом, що не перевищує номінальний струм інвертора (рис. 13.5).

$$I_{ін} \geq I_{ін.екв}, \quad (13.1)$$

$$\text{де } I_{ін.екв} = \sqrt{\frac{I_{ін.макс}^2 \cdot t_1 + I_{ін.роб}^2 \cdot (T_{ц} - t_1)}{T_{ц}}}; \quad (13.2)$$

$I_{ін.макс} = k_i \cdot I_{ін}$ - максимальний струм (струм навантаження) інвертора, А;

k_i – коефіцієнт кратності максимального струму інвертора;

t_1 - допустимий час протікання максимального струму;

$I_{ін.роб}$ - робочий струм інвертора, А;

$T_{ц}$ – час циклу.

На етапі попереднього вибору двигуна можна прийняти $T_{ц} = 300$ с.

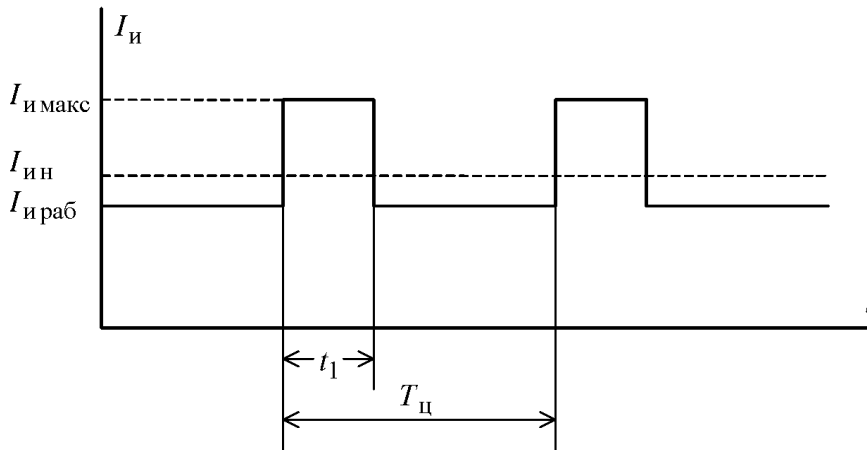


Рис. 13.5 - Цикл роботи інвертора

Рекомендації щодо попереднього вибору перетворювача частоти [19]:

1. Параметри мережі живлення: 3-х фазна мережа 380 В, 50 Гц.

2. Вихідні параметри перетворювача частоти:

- 3 фази;
- максимальна вихідна лінійна напруга 380 В;
- максимальна вихідна частота інвертора

$$f_{ін.макс} > 50 \cdot \frac{\omega_{еп.макс}}{\omega_0 \cdot (1 - s_K)}, \text{ Гц}; \quad (13.3)$$

- мінімальна вихідна частота інвертора

$$f_{ін.мін} < 50 \cdot \frac{\omega_{еп.мін}}{\omega_0}, \text{ Гц}. \quad (13.4)$$

3. Перетворювач частоти струму вибираємо виходячи з наступних умов:

- максимальний струм інвертора повинен бути більшим за максимальний струм навантаження

$$I_{ін.макс} \geq I_{1.л.} \cdot \frac{M_{еп.макс}}{M_{дв.н}}. \quad (13.5)$$

Навіть якщо двигун працює при малому завантаженні, максимальний струм інвертора повинен задовольняти умову

$$I_{ін.макс} \geq M_{дв.н}; \quad (13.6)$$

- фактична тривалість перевантаження двигуна не повинна перевищувати значення допустимого часу протікання максимального струму інвертора, а тривалість фактичного робочого циклу електроприводу не повинна бути меншою за час граничного циклу інвертора;

- робочий струм інвертора з урахуванням максимального струму навантаження та граничного циклу повинен бути більшим за максимальний струм навантаження

$$I_{\text{ін.роб}} \geq I_{1.\text{л.}} \cdot \frac{M_{\text{еп.макс}}}{M_{\text{дв.н}}}, \quad (13.7)$$

$$\text{де } I_{\text{ін.екв}} = \sqrt{\frac{I_{\text{ін}}^2 \cdot T_{\text{ц}} + I_{\text{ін.мфкс}}^2 \cdot t_1}{T_{\text{ц}} - t_1}}. \quad (13.8)$$

У другій зоні регулювання швидкості з постійним моментом навантаження ($M_{\text{с макс}} < M_{\text{дв.н}}$) наведені умови вибору інвертора струмом записуються в наступному вигляді:

$$I_{\text{ін.макс}} \geq I_{1.\text{л.}} \cdot \frac{M_{\text{еп.макс}}}{M_{\text{дв.н}}} \cdot \frac{\omega_{\text{еп.макс}}}{\omega_{\text{дв.н}}}; \quad (13.9)$$

$$I_{\text{ін.макс}} \geq I_{1.\text{л.}} \cdot \frac{M_{\text{с.макс}}}{M_{\text{дв.н}}} \cdot \frac{\omega_{\text{еп.макс}}}{\omega_{\text{дв.н}}}. \quad (13.10)$$

При роботі перетворювача частоти з повітряним охолодженням на висоті до 1000 м над рівнем моря і температурі навколишнього середовища вище 40° С слід врахувати поправочний коефіцієнт $k_T < 1$ для визначення фактичного номінального струму інвертора для цих умов експлуатації

$$I_{\text{ін}}^* \geq k_T \cdot I_{\text{ін}}. \quad (13.11)$$

При роботі перетворювача частоти на висоті від 1000 до 4000 м над рівнем моря для визначення фактичного номінального струму інвертора слід врахувати поправочний коефіцієнт $k_B < 1$, а в залежності від температури навколишнього середовища поправочний коефіцієнт $k_T < 1$ при температурі вище 40° С і $k_T > 1$ при температурі нижче 40° С

$$I_{\text{ін}}^* \geq k_B \cdot k_T \cdot I_{\text{ін}}. \quad (13.12)$$

Фактично максимальний струм інвертора визначається у цьому випадку відповідно до виразу

$$I_{\text{ін.макс}}^* \geq k_i \cdot I_{\text{ін}}^*. \quad (13.13)$$

Примітки: при векторному керуванні номінальний струм двигуна повинен задовольняти умову

$$I_{\text{дв.н}} \geq 0,125 \cdot I_{\text{ін}}; \quad (13.14)$$

при скалярному U/f керуванні мінімальної межі для номінального струму двигуна немає. Однак за дуже малого номінального струму це призведе до погіршення якості роботи: компенсація ковзання IR та компенсація I^2t будуть обчислюватися неправильно.

13.3 Вибір станції керування для двигуна, що живиться від цехової мережі. Типовий електропривод при живленні електродвигуна від цехової мережі з керуванням від магнітного контролера (релейно-контакторна система) включає [10,11]:

- електродвигун;
- станцію керування з ланцюгами захисту та сигналізації;
- електричні апарати для керування електроприводом (кнопки керування, універсальні перемикачі, командоконтролери);
- резистори в силових ланцюгах електродвигуна;
- колійні та кінцеві вимикачі.

При вибраному двигуні розрахунок пускових, гальмівних та регулювальних резисторів у силових ланцюгах двигуна виконується за умови забезпечення вимог, що висуваються до електроприводу:

- діапазону регулювання швидкості;
- обмеження прискорення;
- необхідність точної зупинки, і т.д.

За відсутності особливих вимог до плавності пуску число щаблів пускових резисторів приймається рівним 2...3.

Після закінчення пуску двигун може працювати як у природній схемі (при номінальній напрузі та відсутності резисторів у ланцюгах обмоток двигуна), так і на штучних характеристиках (за наявності резисторів у ланцюгах обмоток двигуна).

Вибір режиму гальмування двигуна (протиковлючення, динамічного чи рекуперативного гальмування) ґрунтується як на технологічних вимогах до приводу щодо інтенсивності гальмування та точності зупинки, так і на техніко-економічних показниках – обліку втрат енергії при гальмуванні та складності апаратної реалізації режиму.

14. РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Завданням розрахунку є забезпечення технологічних завдань, закладених у вимоги до електроприводу:

- робочі швидкості робочого та зворотного ходу повинні бути забезпечені із заданим ступенем точності;

- прискорення електроприводу має перевищувати допустимих значень.

Формування прискорення під час пуску здійснюється правильною пусковою діаграмою, а уповільнення при гальмуванні найчастіше обмежується одним ступенем гальмівного резистора.

Таким чином, прискорення в таких системах є змінним, та його допустима величина визначається механічними характеристиками двигуна в режимі пуску та гальмування.

Вихідними даними для розрахунку статичних характеристик є каталожні дані електродвигуна та іншого обладнання, встановленого у його силовому ланцюзі.

За допомогою природної характеристики оцінюють можливості двигуна при його роботі у механічній системі:

- витримувати граничні значення струму (моменту), які двигун може розвивати короткочасно;

- забезпечувати переведення двигуна в генераторний режим та ін.

Розрахунок природної характеристики виконують аналітичним, графічним чи графоаналітичним методами. Найбільш точним зображенням природної характеристики двигуна є каталожна її крива. За наявності каталожної кривої відпадає потреба у розрахунку показників, лише іноді отримання на основі природної властивості штучних показників доводиться лінеаризувати природну характеристику робочому ділянці.

14.1 Природні властивості двигуна незалежного збудження.

Каталожними даними двигуна незалежного збудження є номінальні дані [4-7]:

U_n - номінальна напруга на якорі, В;

P_n - номінальна потужність на валу, кВт;

I_n – номінальний струм якорного ланцюга, А;

n_n – номінальна частота обертання, об/хв,

а також

n_{\max} – максимальна частота обертання, об/хв;

M_{\max} - максимальний крутний момент, кГм;

$J_{дв}$ – момент інерції якоря, кгм² (або $GD^2 = 4 \cdot J_{дв}$ – маховий момент).

У каталогах деяких серій двигунів (зокрема, краново-металургійної серії Д) та довідниках [13-15] наводяться:

$2pn$ – кількість полюсів;

N – кількість активних провідників якоря;

$2a$ – число паралельних гілок якоря;

$r_{оя}$ - опір обмотки якоря, Ом;

$r_{дп}$ - опір обмотки додаткових полюсів, Ом;

$w_{вп}$ - число витків паралельної обмотки на полюс;

$r_{ов}$ – опір паралельної обмотки, Ом;

Φ_n – номінальний магнітний потік на полюс, мкс,

а також характеристики намагнічування двигунів $\Phi = f(F)$ та робочі характеристики – каталожні залежності від струму якоря I частоти обертання $n = f(I)$, моменту на валу $M_v = f(I)$, потужності на валу $P_v = f(I)$ та коефіцієнта корисної дії $\eta = f(I)$.

Необхідно відзначити, що для подальших розрахунків каталожні дані частоти обертання n та моменту M потрібно перерахувати в одиницях вимірювання системи СІ:

$$\omega \text{ (рад/с)} = n \text{ (об/хв)} / 9,55;$$

$$M \text{ (Нм)} = 9,81 \cdot M \text{ (кгм)}.$$

Механічні характеристики двигуна незалежного збудження прямолінійні і видаються формулою:

$$\omega_0 = \frac{U}{K\Phi} - \frac{R}{(K\Phi)^2} \cdot M. \quad (14.1)$$

Для природної механічної характеристики напруга дорівнює номінальному $U = U_n$, потік дорівнює номінальному $\Phi = \Phi_n$, опір якорного ланцюга дорівнює внутрішньому (не вимикається):

$$R = r_{оя} + r_{дп} + r_{ко} = r_я;$$

$$\omega_0 = \frac{U_n}{K\Phi_n} - \frac{r_я}{(K\Phi_n)^2} \cdot M. \quad (14.2)$$

За відсутності даних щодо опору якорного ланцюга величина $r_я$ може бути приблизно визначена з умови рівності постійних та змінних втрат у номінальному режимі за формулою

$$r_я \cong \frac{U_n \cdot I_n - P_n}{2 \cdot I_n^2}. \quad (14.3)$$

Добуток $K\Phi_n$ також можна визначити через каталожні дані

$$K\Phi_n = \frac{1}{U_n - I_n \cdot r_{\text{я}}}. \quad (14.4)$$

Природна механічна характеристика будується за двома точками:

$$(\omega_n, M_n) \text{ та } (\omega_{\text{он}}, M = 0).$$

Швидкість ідеального холостого ходу $\omega_{\text{он}}$ він визначається за формулою

$$\omega_{\text{он}} = \frac{U_n}{K\Phi_n}. \quad (14.5)$$

Електромагнітний момент

$$M_n = K\Phi_n \cdot I_n, \quad (14.6)$$

двигун розвиває за нормальної частоти обертання ω_n .

Механічні характеристики двигунів $\omega = f(M)$ будуються в залежності від електромагнітного моменту

$$M = M_{\text{в}} + M_{\text{х}}. \quad (14.7)$$

Момент втрат холостого ходу часто приймають постійним $M_{\text{х}} = M_{\text{хн}}$ та визначають за каталожними даними номінального режиму

$$M_{\text{хн}} = M_n - M_{\text{вн}}, \quad (14.8)$$

$$M_{\text{вн}} = \frac{P_n \cdot 10^3}{\omega_n}, \quad (14.9)$$

де $M_{\text{вн}}$ - номінальний момент на валу двигуна.

Природна електромеханічна характеристика $\omega = f(I)$ визначається співвідношенням

$$\omega_n = \frac{U_n + I \cdot r_{\text{я}}}{K\Phi_n} \quad (14.10)$$

і будується також двома точками: (ω_n, I_n) і $(\omega_{\text{он}}, I = 0)$.

Часто у межах автоматизованого електроприводу використовуються характеристики, побудовані у відносних одиницях (в.о.). Для переходу до в.о. призначаються базові величини, за які зазвичай приймаються номінальні значення: $U_{\text{б}} = U_n$, $I_{\text{б}} = I_n$, $\Phi_{\text{б}} = \Phi_n$ лише за базову частоту обертання $\omega_{\text{б}} = \omega_{\text{он}}$.

Базові значення інших змінних визначаються через базові значення основних змінних:

$$M_{\text{б}} = M_{\text{н}} = k \cdot \Phi_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}};$$

$$E_{\text{б}} = E_{\text{н}} = k \cdot \Phi_{\text{н}} \cdot \omega_{0\text{н}};$$

$$R_{\text{б}} = R_{\text{н}} = U_{\text{н}} / I_{\text{н}}.$$

Природні механічна та електромеханічна характеристики в в.о. збігаються

$$\begin{aligned} \bar{\omega} &= 1 - \overline{M \cdot r_{\text{я}}}; \\ \bar{\omega} &= 1 - \overline{I \cdot r_{\text{я}}}; \\ \bar{M} &= \bar{I}; \end{aligned} \quad (14.11)$$

і будуються за точками: $(\bar{\omega} = 1, \bar{M} = 0)$ та $(\bar{\omega} = 1 - \bar{r}_{\text{я}}, \bar{M} = 1)$.

Використання зображення характеристик в.о. дозволить надалі легко будувати штучні характеристики та визначати параметри схем включення.

13.2 Природні характеристики двигуна послідовного збудження.

Двигуни послідовного порушення поступово витісняються з електроприводів промислових механізмів асинхронними двигунами. Ці двигуни зберігають своє місце в електроприводі транспортних пристроїв (електровози, тролейбуси, трамваї) завдяки їх перевагам для цього типу приводів:

- однопровідне живлення;
- потік не залежить від напруги мережі;
- сталість статичної потужності;
- можливість форсування перехідних режимів і т.д.

Обмотка збудження двигуна послідовного збудження включається в ланцюг якоря і потік машини визначається струмом якоря. Механічна та електромеханічна характеристики двигуна визначаються кривою намагнічування машини, тому природні характеристики не піддаються аналітичному розрахунку. Розрахунок характеристик двигуна – графоаналітичний, та вихідними даними для розрахунку є каталожні криві – залежності від струму якоря I моменту на валу $M_{\text{в}}$ та частоти обертання n , а також потужності на валу $P_{\text{в}}$ та коефіцієнта корисної дії η .

У каталогах [13-15] наводяться також номінальні дані двигуна ($P_{\text{н}}$, $I_{\text{н}}$, $U_{\text{н}}$, $n_{\text{н}}$), а також граничні значення моменту $M_{\text{макс.доп}}$ та частоти обертання $n_{\text{макс}}$, момент інерції якоря $J_{\text{дв}}$ або маховий момент $GD^2 = 4 \cdot J_{\text{дв}}$. Для двигунів краново-металургійної серії (двигуни типу Д) наводяться значення навантажень P , I , n , що допускаються, при каталожних значеннях $P_{\text{в}}$, що дозволяє побудувати ділянку електромеханічної характеристики.

Для подальших розрахунків штучних характеристик доцільно побудувати залежності електромагнітного моменту $M_{\text{ем}}(I)$ та гальмівного моменту $M_{\text{Г}}(I)$. Для цього задаються струмом якоря $I_{\text{зад}}$, по каталожним кривим визначають

частоту обертання ω_e на природній електромеханічній характеристиці і значення моменту на валу M_B по каталожній залежності $M_B(I)$

Електромагнітний момент розраховується за співвідношенням

$$M_{EM} = K\Phi \cdot I_{зад} = \frac{U_H - I_{зад}(r_{я} + r_{о.п})}{\omega_e} - I_{зад}, \quad (14.12)$$

а гальмівний момент

$$M_{\Gamma} = 2 \cdot M_{EM} - M_2. \quad (14.13)$$

За результатами розрахунків будуються залежності $M_{ем}(I)$ та $M_{\Gamma}(I)$, а також природна механічна характеристика $\omega = f(M_{ем})$.

13.3 Природні характеристики асинхронного двигуна. У каталогах електротехнічної промисловості [13-15] наводяться номінальні дані двигуна:

$U_{1н}$ - номінальна напруга статора, В;

$I_{1н}$ - струм статора, А;

P_H - потужність на валу,

n_H - частота обертання, об/хв,

$\cos \varphi_H$ - коефіцієнт потужності;

η_H - коефіцієнт корисної дії,

а також

M_K - максимальний момент, Нм;

n_{\max} - максимальна частота обертання, об/хв;

$J_{дв}$ - момент інерції ротора, кгм².

Для двигуна з фазним ротором:

E_{20} - напруга на кільцях загальмованого розімкнутого ротора,;

$I_{2н}$ - номінальний струм ротора, А.

Для двигуна з короткозамкненим ротором:

$M_{п}$ - пусковий момент, Нм;

$I_{п}$ - пусковий струм статора, А.

Крім номінальних даних, у каталогах двигунів краново-металургійної серії МТФ(Н) наводяться каталожні криві – залежно від ковзання S моменту двигуна $M(S)$, струму статора $I_1(S)$ та $\cos \varphi(S)$, а також навантаження P , n , I , що допускаються при каталожних значеннях тривалості включення $TB_{кат}$.

Найбільш точною механічною характеристикою асинхронного двигуна є каталожна залежність $M(S)$, і лише за відсутності каталожної залежності доводиться звертатися до наближених розрахунків.

При відомих опорах статора r_1 , x_1 та ротора r_2 , x_2 для розрахунку природної механічної характеристики використовують уточнену формулу Клосса [4-7]:

$$M = \frac{2M_K \cdot (1 + aS_K)}{\frac{S_K}{S} + \frac{S}{S_K} + 2aS_K}; \quad (14.14)$$

$$S_K = \pm \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}}; \quad (14.15)$$

$$a = r_1 / r_2'; \quad (14.16)$$

$$M_K = \frac{3U_{1\Phi H}^2}{2\omega_{0H} \left(r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2} \right)}; \quad (14.17)$$

$$r_2' = k_e^2 \cdot r_2;$$

$$x_2' = k_e^2 \cdot x_2;$$

$$k_e = \frac{0,95 \cdot U_{1H}}{E_{20}};$$

$$\omega_{0H} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}{P_{\Pi}};$$

де S_K - критичне ковзання;

M_K - максимальний момент двигуна, Нм; зазвичай в каталогах наводиться $M_{\text{макс}} = M_K$;

r_2' - наведений активний опір ротора, Ом;

x_2' - наведений індуктивний опір розсіювання ротора, Ом;

k_e - коефіцієнт трансформації;

ω_{0H} - синхронна швидкість обертання поля статора, рад/с;

ω_{1H} - номінальна частота напруги статора, Гц;

p_{Π} - кількість пар полюсів.

Якщо опори ланцюгів невідомі, то використовують формулу (14.14), в якій приймають $a = 1$, а критичне ковзання розраховують за формулою:

$$S_K = S_H \cdot \frac{\mu_K \pm \sqrt{\mu_K^2 - 1 + 2a \cdot S_H (\mu_K - 1)}}{1 - 2a \cdot S_H (\mu_K - 1)}, \quad (14.18)$$

$$S_H = \frac{\omega_{0H} - \omega_H}{\omega_{0H}},$$

де μ_K - перевантажувальна здатність асинхронного двигуна;

S_H - номінальне відносне ковзання.

При збільшенні номінальної потужності P_H двигуна величина активного опору статора знижується, а при $P_H > 10$ кВт [1] ним можна знехтувати величиною $r_1 \approx 0$. Тоді $a = 0$, а вираз механічної характеристики (14.14) приймає

ВИГЛЯД,

$$M = \frac{2M_K}{\frac{S_K}{S} + \frac{S}{S_K}}; \quad (14.19)$$

а вираз критичного ковзання (14.18) – на вигляд

$$S_K = S_n \cdot (\mu_k \pm \sqrt{\mu_k^2 - 1}). \quad (14.20)$$

Момент втрат холостого ходу асинхронного двигуна M_x розрахувати досить складно через відсутність каталожних даних щодо опорів статора та ротора. Тому в розрахунках асинхронного електроприводу можна не враховувати момент втрат холостого ходу ($M_x \approx 0$), а електромагнітний момент в режимі, що встановився, приймати рівним статичному моменту.

Електромеханічні характеристики асинхронного двигуна – залежність частоти обертання ротора ω від струму статора $\omega(I_1)$, від струму ротора $\omega(I_2)$, від струму намагнічування $\omega(I_\mu)$. Розрахунок цих залежностей досить складний, оскільки необхідний облік опорів статора та ротора та їх змін залежно від частоти струмів ротора та статора. Також при розрахунку необхідно враховувати зміну опору намагнічування контуру за допомогою кривої намагнічування. Найчастіше на стадії проектування електроприводу опори обмоток та крива намагнічування не відомі.

З достатньою точністю для розрахунку електромеханічних характеристик двигуна під час живлення від цехової мережі (напруга постійної амплітуди та частоти) можна використовувати формули професора В.А. Шубенка. Ці формули отримані при не врахуванні активного опору статора ($r_1 = 0$) і використовують каталожні дані двигуна.

Струм холостого ходу (струм намагнічування)

$$I_{\mu H} = I_{1H} \cdot \left(\sin \varphi_H - \frac{S_H}{S_K} \cdot \cos \varphi_H \right), \quad (14.21)$$

Струм ротора

$$I_2 = I_{2H} \cdot \sqrt{\frac{M \cdot S}{M_H \cdot S_H}}. \quad (14.22)$$

Струм статора

$$I_1 = \sqrt{I_{\mu H}^2 + (I_{1H}^2 - I_{\mu H}^2) \frac{M \cdot S}{M_H \cdot S_H}}. \quad (14.23)$$

При відомих величинах опорів статора і ротора розрахунок струмів у цих ланцюгах виконується відомими з ТОЕ методами розрахунку ланцюгів змінного струму для Т-подібної або Г-подібної схем заміщення асинхронного двигуна [4-7] або за допомогою його кругової діаграми.

Якщо опори ланцюгів статора та ротора невідомі, їх можна розрахувати (з досить великою похибкою) через каталожні дані двигуна.

Для двигуна з фазним ротором:

$$r_2 \cong \frac{E_{20}}{\sqrt{3} \cdot I_{2H}} S_H;$$

$$r_1 \approx r_2';$$

$$x_k \approx \sqrt{\frac{(r_2')^2}{(S_k)^2} - r_1^2};$$

$$x_1 = x_2' \cong \frac{x_k}{2};$$

$$x_\mu \cong \frac{U_{1H}}{I_{\mu H}} - x_1.$$

Для двигуна з короткозамкненим ротором: $r_2' \cong \frac{M_{II} \cdot \omega_{0H}}{3 \cdot I_{II}^2}$.

15. РОЗРАХУНОК ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Перехідні процеси електроприводу виникають при зміні керуючих та впливів, що обурюють.

При пуску електроприводів по системі керований перетворювач - двигун (КП - Д), до яких відносяться системи ТП - Д, перетворювач частоти - асинхронний двигун та ін. чи виконується керуючий вплив, викликає відповідну зміну напруги живлення на якірній обмотці двигуна постійного струму або частоти живлення статорної обмотки двигуна.

При гальмуванні таких електроприводів знижується керуючий вплив, при цьому відбувається зниження напруги або частоти.

Керуючим впливом в електроприводах за системою УП - Д є напруга, що задає. При зміні знаку (полярності) напруги, що задає, змінюється полярність напруги на якірній обмотці або порядок проходження фаз напруги на статорній обмотці, викликаючи реверсування двигуна.

Перехідні процеси виникають також при змінах впливів, що обурюють, зокрема – при змінах за величиною або напрямом дії (знаку) моменту статичних опорів.

Якщо двигун отримує живлення від цехової мережі та керування здійснюється релейно-контакторною системою, процеси пуску та гальмування забезпечуються введенням у силовий ланцюг двигуна додаткових опорів. Зміна опорів ланцюга двигуна зазвичай виконується за допомогою електромагнітних контакторів, включення і відключення яких проводять автоматично реле струму, часу, швидкості, налаштовані на необхідні значення координат електроприводу, або вручну оператором.

Розрахунок перехідних режимів необхідний для:

- визначення часу та характеру їх протікання;
- оцінки їх відповідності вимогам технологічного процесу робочого органу;
- оцінки механічних та електричних перевантажень;
- правильного вибору потужності двигунів, перетворювачів та апаратури управління.

Навантажувальні діаграми, побудовані для перехідних і усталених режимів роботи електроприводу, дають можливість перевірити обраний двигун за умовами заданої продуктивності, по нагріванню, короткочасному перевантаженню і умовам пуску. Вони використовуються також для перевірки нагріву пускових і гальмівних резисторів, для перевірки за навантаженням, що допускаються - тиристорних перетворювачів.

На характер перехідного процесу істотно впливають механічна інерція електроприводу, жорсткість механічної передачі, електромагнітна інерція обмоток двигуна та елементів перетворювача. Для аналізу впливу цих факторів на вигляд навантажувальних діаграм для одного перехідного процесу – пуску при вантажному русі – розраховуються перехідні процеси:

- без урахування пружності передачі та електромагнітної інерції (механічний процес жорсткої системи);
- з урахуванням пружності передачі (механічний процес пружної системи);
- з урахуванням електромагнітної інерції (електромеханічний процес);
- з урахуванням електромагнітної інерції та пружності передачі.

Розрахунок навантажувальних діаграм для всього циклу роботи (два пуски та два гальмування) виконується з урахуванням електромагнітної інерції.

15.1. Перехідний процес у механічній частині електроприводу з ідеально жорсткими зв'язками. Розрахунок навантажувальних діаграм при пуску, гальмуванні, скиданні та накиданні навантаження зводиться до вирішення рівняння руху

$$M = M_c + J \frac{d\omega}{dt}$$

(при постійному моменті інерції J) та рівняння механічної характеристики двигуна

$$M = \beta \cdot [\omega_0(t) - \omega].$$

При живленні від тиристорних перетворювачів, коли перехідні процеси формуються задатчиком інтенсивності

$$\omega_0(t) = \omega_{\text{опоч}} + \xi_0 \cdot t, \quad (15.1)$$

де $\omega_{\text{опоч}}$ - швидкість холостого ходу на початку перехідного процесу при $t = 0$;

$\xi_0 = M_{\text{дин}} / J$ – кутове прискорення валу двигуна, що визначається за заданою величиною допустимого прискорення a та розрахованих значеннях динамічного моменту $M_{\text{дин}}$ та сумарного моменту інерції системи.

При постійному статичному моменті M_c та прямолінійній механічній характеристиці, що справедливо для двигунів постійного струму незалежного та паралельного збудження та для асинхронних двигунів на ділянці механічної характеристики з $M < 0,8 \cdot M_k$, де M_k - критичний момент, можливе побудова навантажувальних діаграм за аналітичними виразами [4-7]].

$$M(t) = M_c + J \cdot \xi_0 + (M_{\text{поч}} - M_c - J \cdot \xi_0) \cdot e^{-\frac{t}{T_M}}; \quad (15.2)$$

$$\omega(t) = \omega_{\text{споч}} + \xi_0 (t - T_M) + (\omega_{\text{поч}} - \omega_{\text{споч}} + \xi_0 \cdot T_M) \cdot e^{-\frac{t}{T_M}}; \quad (15.3)$$

де J - сумарний момент інерції електроприводу і частин робочої машини, що рухаються, приведений до валу двигуна;

$M_{\text{поч}}$ - значення моменту двигуна при $t = 0$;

β – жорсткість механічної характеристики електроприводу;

$T_M = J/\beta$ - електромеханічна стала часу електроприводу;

$\omega_{\text{споч}} = \omega_{0\text{поч}} - M_c/\beta$ – швидкість на характеристиці $\omega_{0\text{поч}}$, що відповідає статичному моменту M_c .

Слід зазначити, що при розгляді механічного перехідного процесу будь-якої миті часу t в електроприводі з лінійною механічною характеристикою значення координат ω_0 , M і ω пов'язані співвідношеннями:

$$\omega(t) = \omega_0(t) + \frac{M(t)}{\beta}, \quad (15.4)$$

$$\omega_{\text{поч}} = \omega_{0\text{ппо}} + \frac{M_{\text{поч}}}{\beta}. \quad (15.5)$$

Розглядаючи у формулах (15.2) та (15.3) t як параметр, отримуємо рівняння динамічної механічної характеристики $\omega(M)$ досліджуваного перехідного процесу у параметричній формі при значеннях M_c, J_d, ξ_0 та заданих початкових умов.

Перехідний процес складається з кількох етапів, кожен етап відповідає своїм значенням M і ξ_0 . При використанні формул (15.2) та (15.3) кожен етап розраховують, вважаючи на початку етапу

$$t = 0, \omega_0 = \omega_{\text{поч}}, M = M_{\text{поч}}, \omega = \omega_{\text{поч}}.$$

Значення $\omega_{\text{поч}}$ та $M_{\text{поч}}$ визначаються з розрахунку попереднього етапу.

При пуску електроприводу з реактивним M_c за умов, коли $M_{\text{поч}} < M_c$ (наприклад, при $\omega_{\text{поч}} = 0$ і $M_{\text{поч}} = 0$), двигун залишається нерухомим до тих пір, поки момент $M(t)$ не досягне значення $M = M_c$. На цьому етапі $\omega = 0$, момент змінюється згідно із законом $M(t) = \xi_0 \cdot \beta \cdot t$, час запізнення

$$t_0 = \frac{M_c}{\xi_0 \cdot \beta}.$$

При живленні двигуна від цехової мережі (в схемі магнітного контролера)

$$\omega_0(t) = \omega_{\text{он}} = \text{const}, \xi_0 = 0,$$

рівняння (18.2) и (18.3) приймають вид:

$$M(t) = M_c + (M_{\text{поч}} - M_c) \cdot e^{-\frac{t}{T_M}}; \quad (15.6)$$

$$\omega(t) = \omega_c + (\omega_{\text{поч}} - \omega_c) \cdot e^{-\frac{t}{T_M}}; \quad (15.7)$$

Ці рівняння застосовуються для розрахунку перехідних процесів пуску, накидання навантаження, гальмування, реверсу.

Для двигунів постійного струму послідовного чи змішаного збудження й у асинхронних двигунів під час роботи в зоні, близька до критичного моменту, тобто. при нелінійних механічних характеристиках розрахунок навантажувальних діаграм проводиться наближеними графічними або графоаналітичними методами [4-7].

Універсальним методом розрахунку перехідних режимів є метод шматково-лінійної апроксимації. Він придатний для електроприводу, що живиться від мережі та має механічну характеристику будь-якого виду. При цьому пускові та гальмівні механічні характеристики розбиваються на ділянки, що дозволяють замінити їх прямими лініями. Кожна ділянка характеризується

початковою швидкістю $\omega_{\text{начі}}$, початковим моментом $M_{\text{начі}}$, кінцевою швидкістю $\omega_{\text{коні}}$ та кінцевим моментом $M_{\text{коні}}$.

Електромеханічну постійну часу електроприводу на ділянці механічної характеристики, що розглядається, розраховують за формулою

$$T_{Mi} = J_i \frac{\omega_{\text{кіні}} - \omega_{\text{почі}}}{M_{\text{кіні}} - M_{\text{почі}}}. \quad (15.8)$$

Час роботи (розгону або гальмування) електроприводу на даній ділянці характеристики може бути розрахований за формулою

$$\Delta t_i = T_{Mi} \cdot \ln \frac{M_{\text{почі}} - M_{Ci}}{M_{\text{кіні}} - M_{Ci}}. \quad (15.9)$$

Час розгону електроприводу від швидкості $\omega_{\text{поч1}} = 0$ до швидкості $\omega_{\text{кіні}}$ визначається підсумовуванням часів роботи на кожній з апроксимованих ділянок характеристик:

$$t_i = \sum_{k=0}^i \Delta t_k. \quad (15.10)$$

Аналогічно можна розрахувати час гальмування від початкової швидкості $\omega_{\text{поч1}}$ (швидкості, коли двигун перемикається на гальмівний режим) до швидкості наприкінці i -ої ділянки гальмування.

Для швидкостей $\omega_{\text{почі}}$ та $\omega_{\text{кіні}}$ – меж ділянок механічних характеристик – за відповідними електромеханічними (швидкісними) характеристиками визначаються значення струму в силовому ланцюгу $I_{\text{почі}}$ та $I_{\text{кіні}}$.

Таким чином, для кожної ділянки, на якій розбивається механічні характеристики двигуна, визначаються всі величини, необхідні для побудови діаграм навантажувальних $\omega(t)$, $M(t)$, $I(t)$, $\alpha(t)$ перехідних режимів електроприводу.

15.2. Перехідний процес у механічній частині електроприводу з пружними зв'язками. Облік пружних зв'язків в механічній частині електроприводу призводить до поділу обертових інерційних мас двигуна і робочої машини включенням між ними пружного елемента. В результаті перехідний процес пружної системи описується системою диференціальних рівнянь третього порядку (для двомасової пружної системи) та рівнянням механічної характеристики двигуна.

Перехідний процес у електроприводі з пружним зв'язком може бути розрахований за аналітичними виразами [1-3].

Якщо прийняти момент двигуна $M = const$ і статичний момент $M_{pc} = const$, а також не враховувати коефіцієнт загасання системи від дії дисипативних сил (типу в'язкого тертя), рівняння навантажувальних діаграм при нульових початкових умовах набудуть вигляду:

$$\omega_1(t) = \xi_{cep} t + \frac{J_{np} \xi_{cep}}{\delta J_{\partial\theta} \Omega_{12}} \cdot \sin(\Omega_{12} t); \quad (15.11)$$

$$\omega_2(t) = \xi_{cep} t - \frac{\xi_{cep}}{\Omega_{12}} \cdot \sin(\Omega_{12} t); \quad (15.12)$$

$$M_{12}(t) = J_{np} \xi_{cep} \cdot [1 - \cos(\Omega_{12} t)] + M_{pc}. \quad (15.13)$$

В цих формулах

$$\xi_{cep} = \frac{M - M_c - M_{pc}}{\delta J_{\partial\theta} + J_{np} \Omega_{12}}; \quad (15.14)$$

$$\Omega_{12} = \sqrt{\frac{c_{12} \cdot (\delta J_{\partial\theta} + J_{np})}{\delta J_{\partial\theta} J_{np}}}. \quad (15.15)$$

За рахунок коливань пружного моменту M_{12} максимальне навантаження передач збільшується і може істотно перевищити середнє навантаження, що відповідає жорсткій наведеній ланці,

$$M_{12c2} = J_{np} \xi_{cep} + M_{pc}.$$

Це перевищення навантаження оцінюється динамічним коефіцієнтом

$$k_d = \frac{M_{12M2ma}}{M_{12c2}} = \frac{2J_{np} \xi_{cep} + M_{cep}}{J_{np} \xi_{cep} + M_{cep}}. \quad (15.16)$$

Динамічний коефіцієнт k_d є важливою характеристикою умов роботи механічного обладнання та одним з основних показників динамічних якостей системи електроприводу.

Природне демпфування коливань механічної частини електроприводу, створюване дисипативними силами (типу сил в'язкого тертя), дуже невелике і максимум динамічного навантаження знижується при найбільшому коефіцієнті загасання лише на 15% [1-7]. Це дозволяє не враховувати його впливу при розрахунку максимальних динамічних навантажень у перехідних процесах.

Значно збільшують динамічний коефіцієнт k_d і зазори у передачах. Однак на стадії проектування електроприводу їх величини не відомі, тому в цих методичних вказівках їх вплив на перехідні процеси не розглядаються.

У реальному перехідному процесі момент двигуна змінюється у часі $M(t)$ та описується рівняннями електромеханічного перетворення енергії. У рівнянні (15.14) з'явиться $M = M(t)$, прискорення $\xi_{\text{сер}}$ у рівняннях (15.11 – 15.13) також буде змінною величиною, розрахунок перехідного процесу доводиться виконувати спільним рішенням рівнянь двомасової системи та електромеханічного перетворення енергії. Такий розрахунок виконується на ПЕОМ.

Динамічний коефіцієнт k_d можна розрахувати при порівнянні перехідних процесів, побудованих для наведеної жорсткої системи при $T_c = 0$ і для двомасової пружної системи з кінцевим значенням жорсткості $T_c \neq 0$.

В результаті розрахунку визначають вплив пружних зв'язків на час перехідного процесу, на нагрівання двигуна, величину додаткового навантаження механічної частини, величини прискорень і точність виконання технологічних вимог робочої машини.

15.3. Електромеханічний перехідний процес. Облік індуктивностей обмоток двигуна викликає появу додаткової (стосовно механічного перехідного процесу) електромагнітної інерційності в системі електроприводу, змушує аналізувати зміну електромагнітної енергії в перехідних процесах.

Електромеханічний перехідний процес описується (для жорсткої механічної системи) системою диференціальних рівнянь другого порядку. Навантажувальні діаграми цього процесу можуть бути розраховані за аналітичними виразами [1 -7] або інтегрування цих диференціальних рівнянь за допомогою ПЕОМ.

При живленні двигуна від цехової мережі, коли в перехідних процесах до силового ланцюга включаються додаткові резистори, вплив електромагнітної інерції знижується. Необхідність обліку T_E виникає при розрахунку перехідних процесів, коли додаткових резистори відсутні і двигун працює на природній характеристиці.

Вплив електромагнітної інерції суттєво проявляється при відношенні $(T_M/T_E) < 2$ [1],

де $T_M = J/\beta$ – електромеханічна постійна часу електроприводу,

$T_E = L/R$ – електромагнітна стала часу силового ланцюга.

Рівняння навантажувальних діаграм у загальному вигляді для $(T_M/T_E) < 4$ мають вигляд

$$\omega(t) = \omega_c + e^{-\alpha t} \cdot \left[\begin{aligned} & (\omega_{\text{поч}} - \omega_c) \cdot \cos(\Omega_p \cdot t) + \\ & + \frac{(M_{\text{поч}} - M_c) + J \cdot \alpha \cdot (\omega_{\text{поч}} - \omega_c)}{J \cdot \Omega_p} \cdot \sin(\Omega_p t) \end{aligned} \right]. \quad (15.17)$$

$$M(t) = M_C + e^{-\alpha t} \cdot \left[\begin{aligned} & (M_{\text{поч}} - M_C) \cdot \cos(\Omega_p \cdot t) + \\ & + \frac{\beta \cdot (\omega_0 - \omega_{\text{поч}}) - M_{\text{поч}}(1 - \alpha T_E) - \alpha T_E M_C}{T_E \cdot \Omega_p} \cdot \sin(\Omega_p t) \end{aligned} \right]. \quad (15.18)$$

З допомогою наведених рівнянь можна розрахувати перехідні процеси пуску, особливо перехід на природну характеристику, і навіть гальмування.

При живленні двигуна від перетворювача при лінійній зміні напруги (частоти) електромагнітна інерція створює затримку наростання струму (моменту) у початковий момент перехідного процесу, коли електромагнітна енергія в силовому ланцюзі запасається. Потім запасена електромагнітна енергія починає виділятися, викликаючи швидше наростання струму, ніж у механічному перехідному процесі. При $(T_M / T_E) < 2$ виникає перерегулювання струму (моменту), що доводиться враховувати під час перевірки двигуна по здатності перевантаження.

Вплив електромагнітної інерції проявляється лише на початку процесу, потім припиняються коливання струму і моменту, і вплив T_j на характер процесу не позначається.

Навантажувальні діаграми у загальному вигляді при $(T_M / T_E) < 2$ для процесу з лінійною зміною напруги (частоти) для жорсткої механічної системи мають вигляд:

$$\omega(t) = \omega_{\text{сно}} + \xi_0 (t - T_M) + (\omega_{\text{поч}} - \omega_{\text{сно}}) e^{-\alpha t} \cdot \left[\begin{aligned} & \cos(\Omega_p \cdot t) - \frac{(M_{\text{поч}} - M_C) - \beta \cdot T_M \cdot \xi_0 + \beta \cdot T_M \cdot \alpha \cdot (\omega_{\text{поч}} - \omega_{\text{сно}} + \xi_0 \cdot T_M)}{\beta \cdot T_M \cdot \Omega_p \cdot (\omega_{\text{сно}} + \xi_0 \cdot T_M - \omega_{\text{поч}})} \cdot \sin(\Omega_p t) \end{aligned} \right] \quad (15.19)$$

$$M(t) = M_C + \beta \cdot \xi_0 \cdot T_M - (M_{\text{поч}} - M_C - \beta \cdot \xi_0 \cdot T_M) e^{-\alpha t} \cdot \left[\begin{aligned} & \cos(\Omega_p \cdot t) + \frac{\beta(\omega_{\text{сно}} - \omega_{\text{поч}}) - M_{\text{поч}} + \alpha \cdot T_E \cdot (M_{\text{поч}} - M_C - \beta \cdot \xi_0 \cdot T_M)}{T_E \cdot \Omega_p \cdot (M_{\text{поч}} - M_C - \beta \cdot \xi_0 \cdot T_M)} \cdot \sin(\Omega_p t) \end{aligned} \right] \quad (15.20)$$

При аналізі результатів розрахунку перехідних процесів слід оцінити вплив електромагнітної інерції на вигляд навантажувальних діаграм, на нагрівання двигуна, виконання технологічних вимог робочої машини.

15.4 Кут повороту валу двигуна і час роботи в режимі, що встановився. За час пуску (гальмування) електроприводу робочий орган проходить певний шлях, який може бути виражений через кут повороту двигуна.

Кут повороту валу двигуна визначається за формулою

$$\alpha(t) = \int_0^t \omega(t) dt. \quad (15.21)$$

Диференціальне рівняння

$$T_\alpha = \frac{d\alpha}{dt} = \omega. \quad (15.22)$$

включають у систему рівнянь, що описують поведінку електроприводу. При цьому постійна часу інтегруючої ланки T_α при розрахунку в абсолютних одиницях $T_\alpha = 1$ у відносних одиницях

$$T_\alpha = \frac{1}{\omega_6}, \quad (15.23)$$

де ω_6 – базове значення кутової швидкості двигуна.

При необхідності отримання в результаті розрахунку лінійного переміщення робочого органу (в метрах) величина T_α розраховується за формулами:

$$T_\alpha = 2 \cdot j_p / D - \text{в абсолютних одиницях};$$

$$T_\alpha = \frac{2 \cdot J_p}{D \cdot \omega_6} = \frac{1}{v_6} - \text{в відносних одиницях},$$

де v_6 - лінійна швидкість робочого органу, що відповідає базовій швидкості двигуна.

За результатами розрахунку перехідних режимів на ділянці руху, що розглядається, отримують кут повороту валу двигуна (або шлях) за час пуску $\alpha_{\text{п}}$ і час гальмування $\alpha_{\text{г}}$.

Час роботи в режимі, що встановився, визначають за співвідношенням

$$t_y = \frac{\alpha_\Sigma - (\alpha_{\text{п}} + \alpha_{\text{г}})}{\omega_c}, \quad (15.24)$$

де α_Σ – кутовий шлях, що проходить двигуном на аналізованій ділянці руху;

ω_c – швидкість обертання двигуна в встановленому режимі, що відповідає статичному моменту на ділянці руху.

При невеликих α_Σ може виявитися, що $\alpha_\Sigma < \alpha_{\text{п}} + \alpha_{\text{г}}$ і за формулою (15.24) вийде, що $t_y < 0$. Це означає, що при заданому шляху α_Σ та прийнятих значеннях пускового та гальмівного моментів двигун повинен перемикатися на

гальмування, не досягнувши встановленого режиму роботи. У цьому випадку доводиться визначати швидкість, при якій двигун повинен бути переключений на гальмування, щоб до моменту часу, коли закінчиться гальмування і двигун зупиниться, було б пройдено заданий шлях α_{Σ} . Швидкість перемикавання зазвичай визначають графічно, як точку перетину заданого шляху α_{Σ} з кривою $(\alpha_{\Pi} + \alpha_{\Gamma}) = f(\omega)$, що є сумарним шляхом, що проходить двигуном при розгоні і гальмуванні в залежності від швидкості обертання двигуна.

При розрахунках механічних перехідних процесів електроприводу з нелінійними механічними характеристиками (див. п. 18.1) шлях, що проходить електроприводом за час роботи на ділянці, що розглядається (кут повороту валу двигуна), може бути розрахований за формулою

$$\Delta\alpha_i = \frac{\omega_{начі} - \omega_{кіні}}{2} \cdot \Delta t_i. \quad (15.25)$$

Шлях, що проходить електропривод при пуску та гальмуванні за час t_i (коли швидкість змінюється від $\omega_{начі}$ до $\omega_{кіні}$) визначається за співвідношенням

$$\alpha_i = \sum_{k=1}^i \Delta\alpha_k. \quad (15.26)$$

15.5 Середньоквадратичне значення струму (моменту). Для перевірки нагрівання двигуна, пускових і гальмівних резисторів одночасно з розрахунком навантажувальних діаграм доцільно визначити величину, що характеризує нагрівання за час t_i ,

$$\int_0^{t_i} I^2 dt \equiv \sum_{k=1}^i I_{скк}^2 \cdot \Delta t_k, \quad (15.27)$$

де $I_{скк}$ - середньоквадратичний струм на ділянці інтегрування за час Δt_k .

Якщо крива $I(t)$ має в межах інтервалу Δt_i аналітичний вираз, можна визначити середньоквадратичний струм $I_{скі}$ на ділянці за формулами:

– при лінійній залежності $I(t)$

$$I_{скі} = \sqrt{\frac{1}{3}(I_{почі}^2 + I_{ночі} \cdot I_{кіні} + I_{кіні}^2)}; \quad (15.28)$$

– при експоненційній залежності $I(t)$

$$I_{скі} = \sqrt{I_y^2 - \frac{T_M}{\Delta t_i} \cdot (I_{кіні} - I_{ночі}) \cdot \left(\frac{I_{кіні} + I_{ночі}}{2} + I_y \right)}, \quad (15.29)$$

де I_y - значення, до якого прагне експонента $I(t)$;

T_m - постійна електромеханічна часу електроприводу.

У програмах розрахунку перехідних процесів (див. додаток І) виводиться $I_{KB} t = I_{KB} t + I^2 \cdot h$ на друк у таблиці інтегральних показників величина, чисельно рівна добутку квадрата струму на час перехідного процесу, що включає в себе пуск, частину встановленого режиму та гальмування електроприводу. Таким чином, розраховується величина, що входить у формулу еквівалентного струму $\sum I^2 \cdot \Delta t$.

При розрахунках перехідних процесів в електроприводах з реостатним регулюванням швидкості та моменту на друк виводиться величина $I_{KB} R$, також рівна $\sum I^2 \cdot \Delta t$, але тільки для тих проміжків часу, коли в силовий ланцюг включені додаткові резистори. Величина $I_{KB} R$ необхідна для перевірки нагрівання пускових і гальмівних резисторів.

15.6 Розрахунок енергетичних показників електроприводу. Енергетичні показники електроприводу характеризують економічність перетворення енергії системою електроприводу (коефіцієнт корисної дії) та економічність споживання енергії від мережі (коефіцієнт потужності). Для електроприводу, що працює в повторно-короткочасному режимі роботи, універсальною оцінкою енергетичних показників є їхнє середньозважене значення за цикл роботи (циклові значення). Миттєві значення ККД і $\cos\phi$ можуть характеризувати економічність роботи електроприводу тільки в режимах роботи, що встановилися.

Цикловий ККД є відношенням виробленої механічної роботи за цикл A до спожитої за цей час електроенергії (активної енергії) з мережі P [4-7]:

$$\int_0^{t_i} I^2 dt \equiv \sum_{k=1}^i I_{CKK}^2 \cdot \Delta t_k = \eta_{\text{ц}} = \frac{A}{P} = \frac{\int_0^{t_{\text{ц}}} M_{PO}(t) \cdot \omega_{PO}(t) \cdot dt}{\int_0^{t_{\text{ц}}} P_C \cdot dt}, \quad (15.30)$$

Для оцінки циклового ККД слід брати відрізки часу, початку та кінця яких відповідає однакова енергія, запасена в елементах приводу.

Для механізмів, наведених у цьому посібнику, таким відрізком є цикл роботи, коли механізм повертається у вихідне положення.

Для розрахунку енергетичних показників у цьому проекті можуть бути використані результати розрахунку перехідних процесів на ПЕОМ у тих програмах, де виводяться значення механічної A , активної P та реактивної Q енергій.

Механічна енергія за час перехідного процесу визначається за співвідношенням

$$A = \int_0^t M(t) \cdot \omega(t) \cdot \omega \cong \sum_{i=1}^n M_{pi} \cdot \omega_{2i} \cdot \Delta t_i . \quad (15.31)$$

Активна енергія з мережі

$$P = \int_0^t 3U(t) \cdot [I \cdot \cos \varphi(t)] \cdot dt \cong \sum_{i=0}^n 3U_i \cdot [I \cdot \cos \varphi_i] \cdot \Delta t_i . \quad (15.32)$$

Реактивна енергія з мережі

$$Q = \int_0^t 3U(t) \cdot [I \cdot \sin \varphi(t)] \cdot dt \cong \sum_{i=0}^n 3U_i \cdot [I \cdot \sin \varphi_i] \cdot \Delta t_i . \quad (15.33)$$

Енергія за час циклу складається із суми енергій за час перехідних процесів (2 пуски і 2 гальмування) і за час роботи в режимах, що встановилися.

Значення ККД і $\cos \varphi$ у встановленому режимі можна отримати безпосередньо (там, де ці показники розраховуються за програмою) або розрахунком за координатами та параметрами режимів, що встановилися.

Механічна енергія за цикл

$$A_{\text{ц}} = \sum_{k=1}^4 A_k + \sum_{m=1}^2 A_{\text{уст.м}} . \quad (15.34)$$

Активна енергія з мережі за цикл

$$P_{\text{ц}} = \sum_{k=1}^4 P_k + \sum_{m=1}^2 P_{\text{уст.м}} . \quad (15.35)$$

Реактивна енергія з мережі за цикл

$$Q_{\text{ц}} = \sum_{k=1}^4 Q_k + \sum_{m=1}^2 Q_{\text{уст.м}} . \quad (15.36)$$

Циклові значення ККД і $\cos \varphi$ визначаються за формулами:

$$\eta_{\text{ц}} = \frac{A_{\text{ц}}}{P_{\text{ц}}} ; \quad (15.37)$$

$$\cos \varphi_{\text{ц}} = \frac{P_{\text{ц}}}{\sqrt{(P_{\text{ц}})^2 + (Q_{\text{ц}})^2}} . \quad (15.38)$$

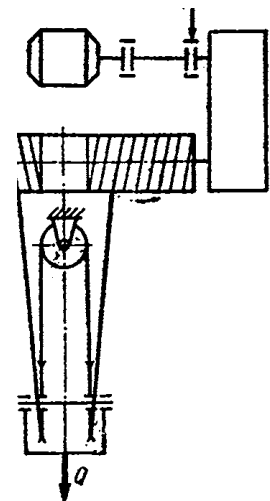
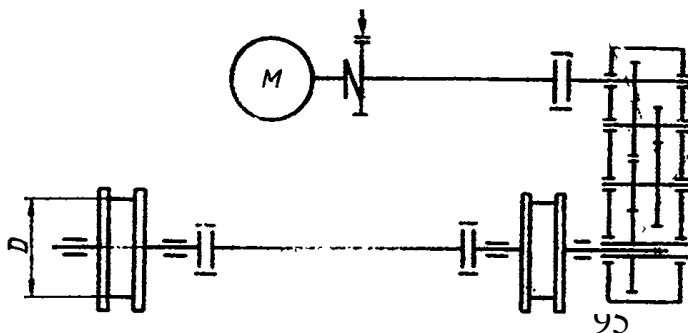
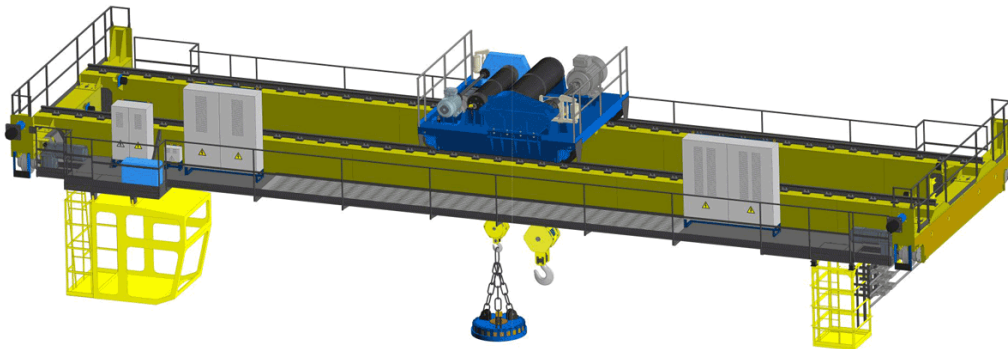
16. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ

ЗАВДАННЯ № 1

Тема курсового проекту: „Електроприводи механізмів підйому вантажу і руху візка мостового крану”

Вихідні дані:

№ п/п	Найменування величин	В а р і а н т и				
		1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
Механізм підйому вантажу						
1.	Вантажопідйомність, т	3,2	4,0	5,0	2,0	2,5
2.	Швидкість підйому, м/хв	12,5	15,5	13,5	10	11,5
3.	Довжина прольота, м	25	25	20	20	18
4.	Режим роботи механізму, ПВ	40	40	25	25	25
5.	Висота підйому, м	10	12	15	14	13
6.	Кількість гілок поліспасти	2	2	4	6	6
7.	Момент інерції передачі, барабана, приведений до валу двигуна в частках від моменту інерції двигуна	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Механізм руху візка						
1.	Маса візка, т	$m_{віз} = 0,4m_{ван}$				
2.	Швидкість руху, м/хв	38,5	37,5	36	38	37
3.	Діаметр ходових коліс, м	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
4.	Діаметр цапф ходових коліс, м	0,06	0,07	0,075	0,075	0,08
5.	Коефіцієнт тертя ковзання	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
6.	Коефіцієнт тертя кочення	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
7.	Довжина прольоту, м	25	25	20	20	18

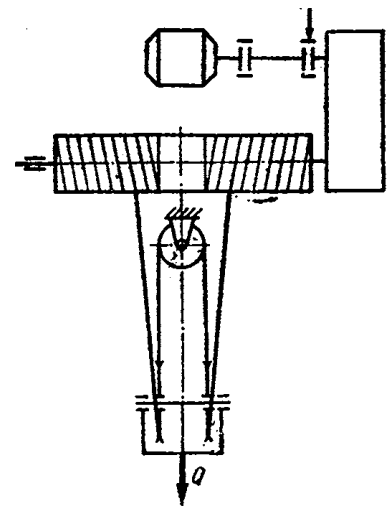
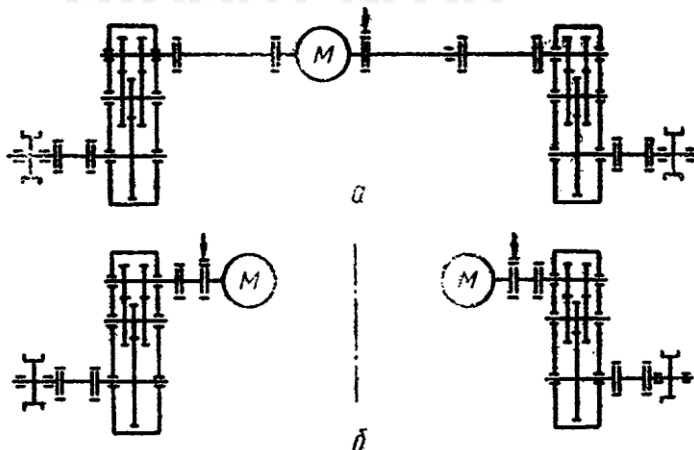


ЗАВДАННЯ № 2

Тема курсового проекту: „Електроприводи механізмів підйому вантажу і руху мостового крану”

Вихідні дані:

№ п/п	Найменування величин	Варіанти				
		1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
Механізм підйому вантажу						
1.	Вантажопідйомність, т	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0
2.	Швидкість підйому, м/хв	8,5	7,5	7,0	7,0	6,5
3.	Довжина прольота, м	16	16	16	16	16
4.	Режим роботи механізму, ПВ	40	40	40	40	40
5.	Висота підйому, м	5,0	6,0	7,5	7,0	6,5
6.	Кількість гілок поліспасти	4	4	6	6	6
7.	Момент інерції передачі, барабана, приведений до валу двигуна в частках від моменту інерції двигуна	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Механізм руху моста крану						
1.	Маса крана, т	$m_k = 0.96G + 0.84(L_k/30)G$				
2.	Швидкість руху, м/хв	45	42	40	38	36
3.	Діаметр ходових коліс, м	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
4.	Діаметр цапф ходових коліс, м	0,06	0,07	0,075	0,075	0,08
5.	Коефіцієнт тертя ковзання	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
6.	Коефіцієнт тертя кочення	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
7.	Довжина підкранового шляху, м	90	75	60	100	80

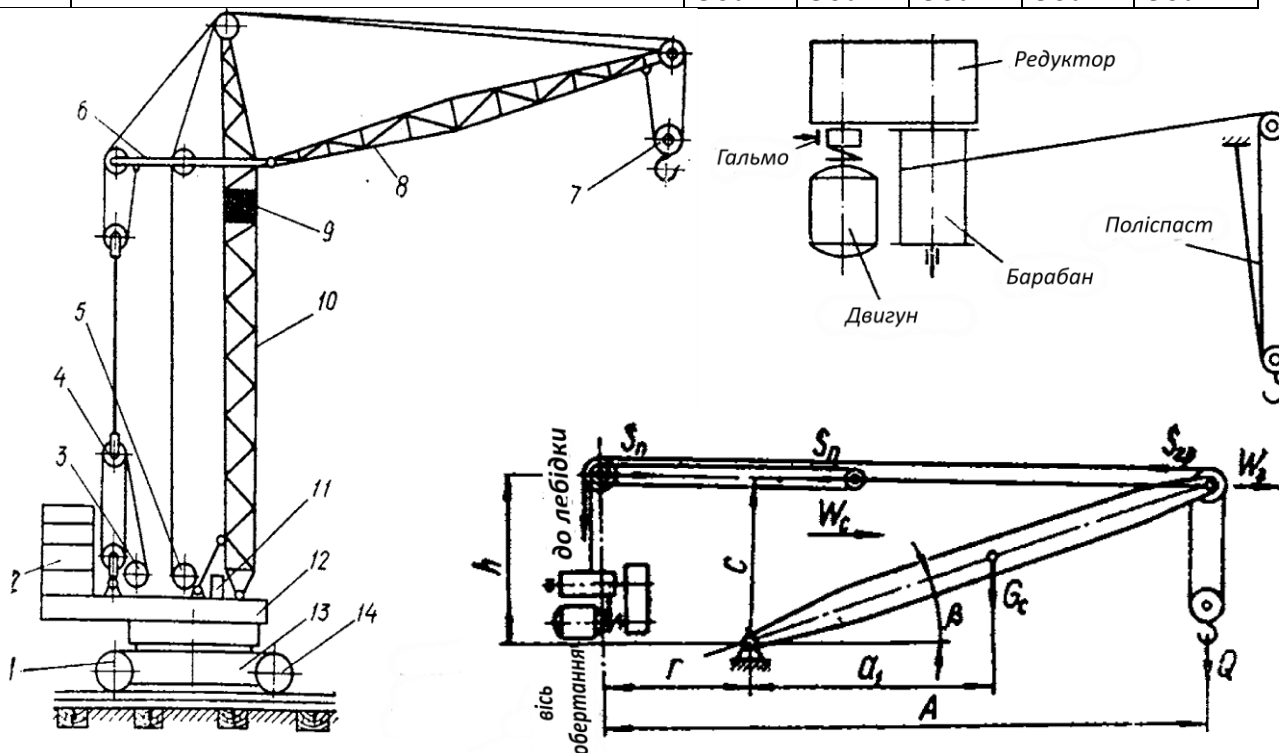


ЗАВДАННЯ № 3

Тема курсового проекту: „ Електроприводи механізмів підйому вантажу та зміни вильоту стріли баштового крану ”

Вихідні дані:

№ п/п	Найменування величин	В а р і а н т и				
		1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
Механізм підйому вантажу						
1.	Вантажопідйомність, т	2,0	3,2	5,0	2,5	4,0
2.	Швидкість підйому, м/хв	24	20	25,5	22,5	18,5
3.	Маса гака, кг	60	50	50	60	70
4.	Діаметр барабана, м	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
5.	Висота підйому, м	31	28	32	30	26
6.	Момент інерції передачі й барабана, приведеного до валу двигуна в частках від моменту інерції двигуна	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Механізм вильоту (підйому) стріли						
1.	Маса крана, т	$G = 0,31M_{ГР}^3\sqrt{H/Q}$				
2.	Вага стріли, кг	$G_c = 0,35Q$				
3.	Швидкість навівання канату, м/хв	16	16,5	17,5	15,5	14
4.	Діаметр барабану, м	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
5.	Мінімальний виліт стріли, м	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75
6.	Максимальний виліт стріли, м	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5
7.	Режим роботи	короткочасний				
8.	Момент інерції передачі й барабана, приведеного до валу двигуна в частках від моменту інерції двигуна	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
9.	Род струму й величина напруги	Змін. 380 В	Змін. 380 В	Змін. 380 В	Змін. 380 В	Змін. 380 В

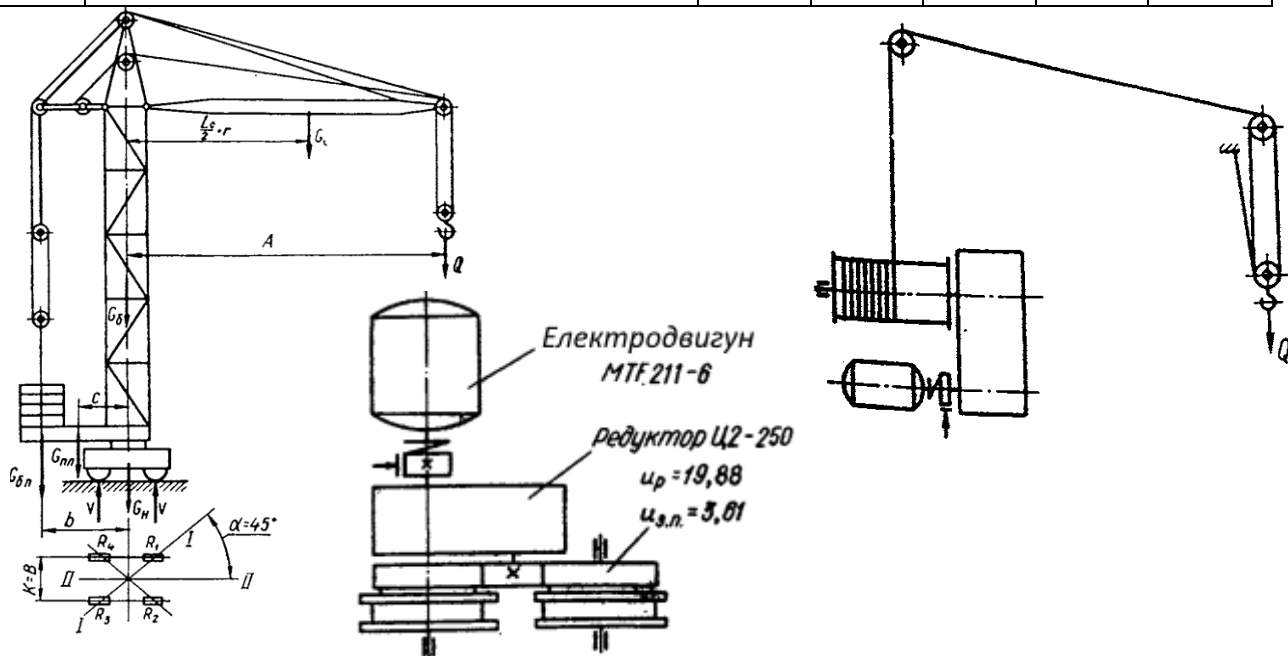


ЗАВДАННЯ № 4

Тема курсового проекту: „Електропривод механізмів підйому вантажу та руху баштового крану”

Вихідні дані:

№ п/п	Найменування величин	В а р і а н т и				
		1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
Механізм підйому вантажу						
1.	Вантажопідйомність, т	6,3	5,0	4,0	2,5	3,2
2.	Швидкість підйому, м/хв	24	20	25,5	22,5	18,5
3.	Маса гака, кг	40	50	40	60	70
4.	Діаметр барабана, м	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
5.	Висота підйому, м	31	28	32	30	26
6.	Момент інерції передачі й барабана, приведеного до валу двигуна в частках від моменту інерції двигуна	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Механізм руху крана						
1.	Маса крана, т	$G = 0,31M_{ГР}^3\sqrt{H/Q}$				
2.	Вага стріли, т	$G_c = 0,035G$				
3.	Вага баласту,	$G_{бал} = 0,34G$				
4.	Вага башти, т	$G_b = 0,13G$				
5.	Вага поворотної платформи, т	$G_{п.п} = 0,1G$				
6.	Вага неповоротної рами, т	$G_{н.п} = 0,145G$				
7.	Вага електрообладнання та механізмів, т	$G_{с.м} = 0,25G$				
8.	Довжина колії, м	80	90	100	70	60
9.	Швидкість руху, м/хв	24,8	26,0	27,5	23,5	20,0
10.	Діаметр ходових коліс, м	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
11.	Діаметр цапф ходових коліс, м	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
12.	Коефіцієнт тертя ковзання	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
13.	Коефіцієнт тертя кочення	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
14.	Род струму й величина напруги	Змін. 380 В	Змін. 380 В	Змін. 380 В	Змін. 380 В	Змін. 380 В

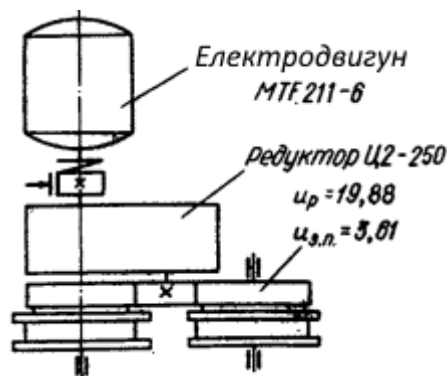
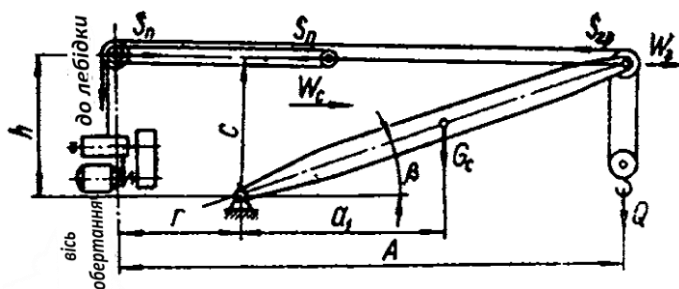
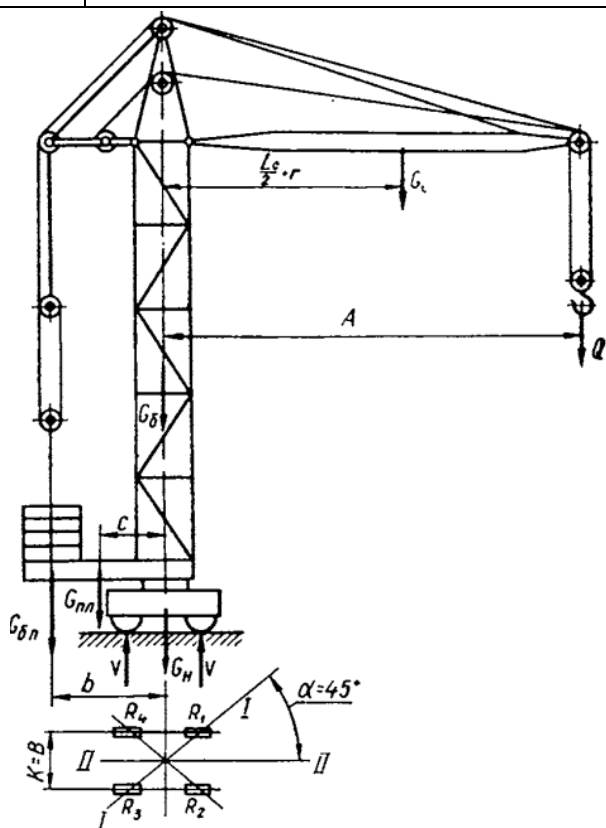


ЗАВДАННЯ № 5

Тема курсового проекту: „Електропривод механізмів зміни вильоту стріли та руху баштового крану”

Вихідні дані:

№ п/п	Найменування величин	В а р і а н т и				
		1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
Механізм вильоту (підйому) стріли						
1.	Вантажопідйомність, т	2,5	5,0	4,0	6,3	3,0
2.	Вага стріли, т	$G_c = 0,35Q$				
3.	Швидкість навивання канату, м/хв	16	16,5	17,5	15,5	14
4.	Висота підйому вантажу, м	38	32	30	34	36
5.	Мінімальний виліт стріли, м	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75
6.	Максимальний виліт стріли, м	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5
7.	Режим роботи	короткочасний				
Механізм руху крана						
1.	Вага крана, т	$G = 0,31M_{ГР}^3 \sqrt{H/Q}$				
2.	Вага баласту, т	$G_{бал} = 0,34G$				
3.	Вага башти, т	$G_б = 0,13G$				
4.	Вага поворотної платформи, т	$G_{п.п} = 0,1G$				
5.	Вага неповоротної рами, т	$G_{н.п} = 0,145G$				
6.	Довжина колії, м	80	90	100	70	60
7.	Швидкість переміщення крана, м/хв	24,8	26,0	27,5	23,5	20,0
8.	Діаметр ходових коліс, м	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
9.	Діаметр цапф ходових коліс, м	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09
10.	Переміщення в технологічній операції	$0,65L_{к}$	$0,7L_{к}$	$0,75L_{к}$	$0,6L_{к}$	$0,55L_{к}$
11.	Род струму й величина напруги	Змін. 380 В	Змін. 380 В	Змін. 380 В	Змін. 380 В	Змін. 380 В

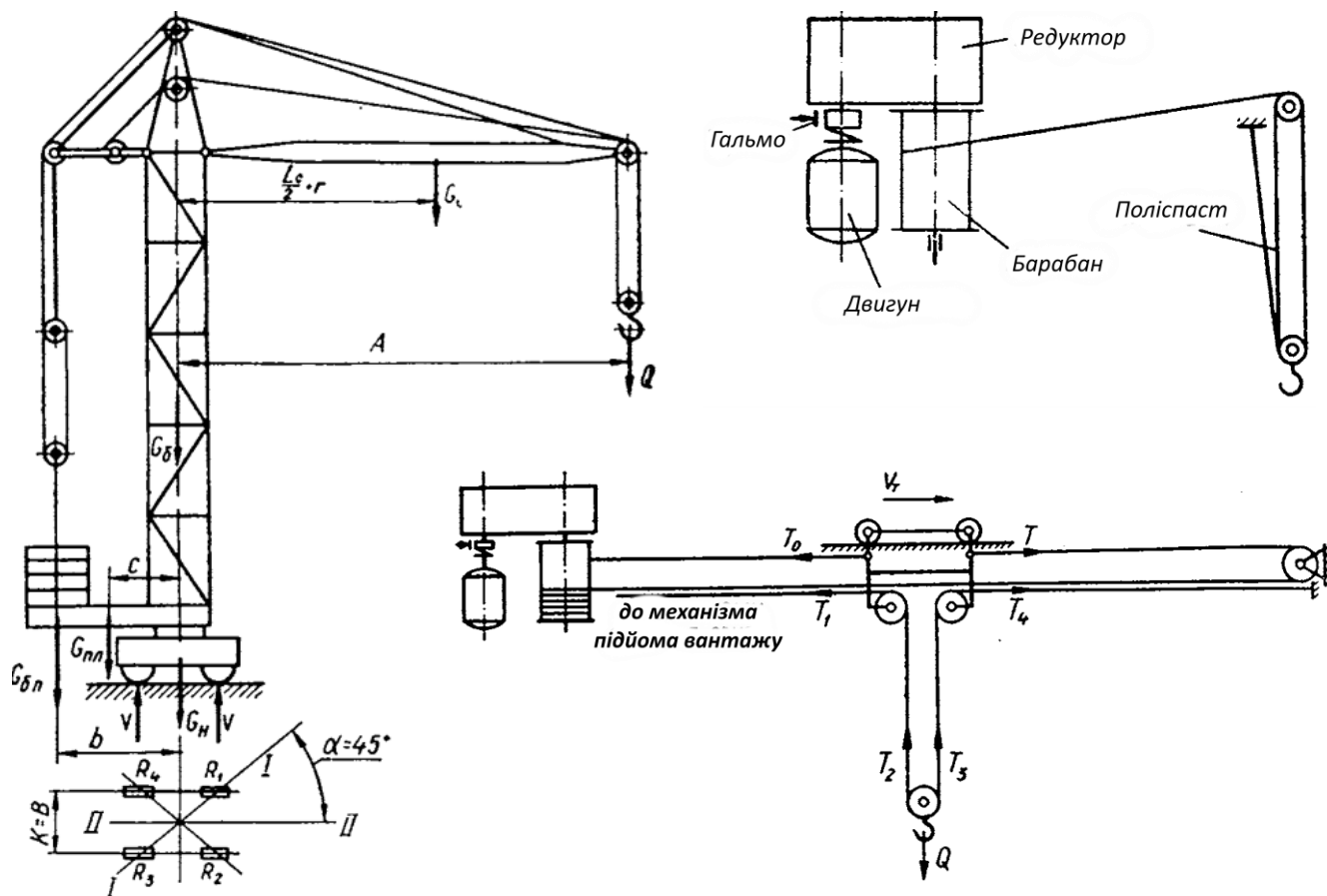


ЗАВДАННЯ № 6

Тема курсового проекту: „Електропривод механізмів підйому вантажу і руху візка баштового крану”

Вихідні дані:

№ п/п	Найменування величин	В а р і а н т и				
		1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
Механізм підйому вантажу						
1.	Вантажопідйомність, т	5,0	2,5	1,6	3,2	4,0
2.	Швидкість підйому, м/хв	12,5	15,5	13,5	10	11,5
3.	Маса гака, кг	140	70	60	100	120
4.	Діаметр барабана, м	0,4	0,42	0,44	0,48	0,5
5.	Висота підйому, м	10	12	15	14	13
6.	Кількість гілок поліспасти	4	2	2	2	4
7.	Момент інерції передачі, барабана, приведений до валу двигуна в частках від моменту інерції двигуна	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Механізм руху візка						
1.	Маса візка, т	$m_{віз} = 0,4m_{ван}$				
2.	Швидкість руху, м/хв	36	38	38,5	37,5	37
3.	Діаметр ходових коліс, м	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
4.	Діаметр цапф ходових коліс, м	0,06	0,07	0,075	0,075	0,08
5.	Коефіцієнт тертя ковзання	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
6.	Коефіцієнт тертя качення	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
7.	Довжина прольоту, м	27	16	21	18	24

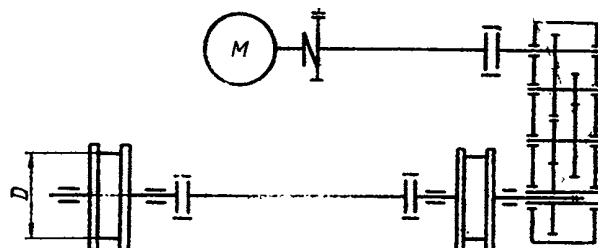
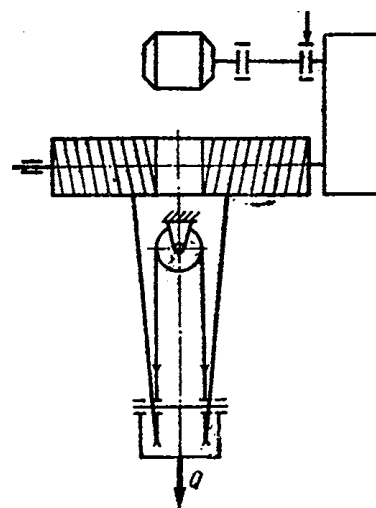


ЗАВДАННЯ № 7

Тема курсового проекту: „Електроприводи механізмів підйому вантажу і руху візка козлового крану”

Вихідні дані:

№ п/п	Найменування величин	Варіанти				
		1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
Механізм підйому вантажу						
1.	Вантажопідйомність, т	3,2	4,0	5,0	2,0	2,5
2.	Швидкість підйому, м/хв	12,5	15,5	13,5	10	11,5
3.	Довжина прольота, м	25	25	20	20	18
4.	Режим роботи механізму, ПВ	40	40	25	25	25
5.	Висота підйому, м	10	12	15	14	13
6.	Кількість гілок поліспасти	2	2	4	6	6
7.	Момент інерції передачі, барабана, приведений до валу двигуна в частках від моменту інерції двигуна	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Механізм руху візка						
1.	Маса візка, т	$m_{віз} = 0,4m_{ван}$				
2.	Швидкість руху, м/хв	38,5	37,5	36	38	37
3.	Діаметр ходових коліс, м	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
4.	Діаметр цапф ходових коліс, м	0,06	0,07	0,075	0,075	0,08
5.	Коефіцієнт тертя ковзання	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
6.	Коефіцієнт тертя кочення	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
7.	Довжина прольоту, м	25	25	20	20	18

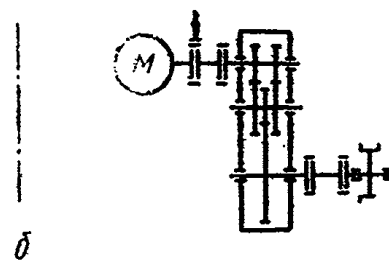
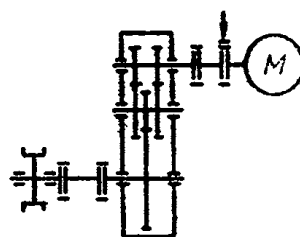
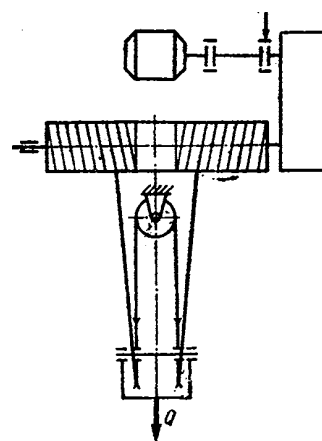


ЗАВДАННЯ № 8

Тема курсового проекту: „Електроприводи механізмів підйому вантажу і руху козлового крану”

Вихідні дані:

№ п/п	Найменування величин	В а р і а н т и				
		1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
Механізм підйому вантажу						
1.	Вантажопідйомність, т	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0
2.	Швидкість підйому, м/хв	8,5	7,5	7,0	7,0	6,5
3.	Довжина прольота, м	16	16	16	16	16
4.	Режим роботи механізму, ПВ	40	40	40	40	40
5.	Висота підйому, м	5,0	6,0	7,5	7,0	6,5
6.	Кількість гілок поліспасти	4	4	6	6	6
7.	Момент інерції передачі, барабана, приведений до валу двигуна в частках від моменту інерції двигуна	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Механізм руху моста крану						
1.	Маса крана, т	$m_k = 0.96G + 0.84(L_k/30)G$				
2.	Швидкість руху, м/хв	45	42	40	38	36
3.	Діаметр ходових коліс, м	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
4.	Діаметр цапф ходових коліс, м	0,06	0,07	0,075	0,075	0,08
5.	Коефіцієнт тертя ковзання	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
6.	Коефіцієнт тертя кочення	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
7.	Довжина підкранового шляху, м	90	75	60	100	80



СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. А.А. Видмиш, Л.В. Ярошенко. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1/ Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
2. Регульований електропривод: Підручник / І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Л.С. Червінський, Д.А. Абдураманов, А.В. Торопов, О.В. Санченко; За ред. І.М. Голодного. – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с.
3. Фираго Б.И. Теория электропривода: Учебн. пособие / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн.: ЗАО “Техноперспетива”, 2004. – 527 с.
4. Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода: Учебник для вузов. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 1994. – 496 с.
5. Теорія електропривода: Підручник /М.Г. Попович, М.Г. Борисик, В.А. Гаврилюк та ін.; За ред. М.Г. Поповича. – К.: Вища шк., 1993
6. Ключев В.И. Теория электропривода. Учебник для ВУЗов. – М; Энергоатомиздат. 1985. – 560 с.
7. Чекунов К.А. Теория судового электропривода. Учебное пособие. – Л.: Судостроение, 1982. – 336 с.
8. Иванченко Ф.К. Конструкция и расчет подъемно-транспортных машин. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 424 с.
9. Яуре А.Г., Певзнер Е.М. Крановый электропривод: Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 344 с.
10. Справочник по кранам: В 2-х т. Т. 1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций / В.И. Брауде, М.М. Гохберг, И.Е. Звягин и др.: Под общ. ред. М.М. Гохберга. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 536 с.
11. Справочник по кранам: В 2-х т. Т. 2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов / М.П. Александров, М.М. Гохберг, А.А. Ковин и др.: Под общ. ред. М.М. Гохберга. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 559 с.
12. Правила устройства электроустановок. Раздел V. Электросиловые установки. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
13. Кацман М.М. Справочник по электрическим машинам: Учеб. пособие для студ. – М.: Издательский центр “Академия”, 2005. – 480 с.
14. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. / Под общ. ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т. 1. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.

15. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателя в электроприводе. - М.: Энергия, 1974. - 568 с.

16. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 4. Тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: учебное пособие / Л.С. Удут, Н.В., Кояин, О.П. Мальцева. - Издание 2-е переработанное и дополненное. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. - 164 с

17. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / И.Х. Евзеров, А.С. Горобец, Б.И. Мошкович и др.; Под ред. канд. техн. наук В.М. Перельмутера. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.

18. Справочник по автоматизированному электроприводу /Под ред. В.А.Елисеева, А.В.Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.

19. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. - 354 с

ЗМІСТ

Вступ	3
Фізичні величини, що використовуються в методичних вказівках	5
1. Організація роботи над курсовим проектом	6
2. Зміст і обсяг курсового проекту	7
3. Вихідні дані для проектування	8
4. Опис робочої машини і її технологічного процесу	9
5. Вимоги, що пред'являються до електроприводу	40
6. Обґрунтування вибору роду струму і типу (варіанта) електроприводу	41
7. Попередній вибір електродвигуна	42
8. Визначення передачного числа і вибір редуктора	50
9. Приведення статичних моментів до валу двигуна	51
10. Приведення моментів інерції і коефіцієнтів жорсткості до вала двигуна	52
11. Побудування навантажувальних діаграм електроприводу	54
12. Попередня перевірка двигуна по виробничості і нагріву	60
13. Вибір типу (системи) електроприводу і основних елементів	63
14. Розрахунок статичних характеристик електроприводу	76
15. Розрахунок перехідних процесів електроприводу	86
16. Варіанти завдань	93
Список використаних літературних джерел	103
Додатки	106

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут

Кафедра автоматики і електроустаткування

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

з дисципліни: **“ Основи теорії електроприводів ”**

на тему: _____

Здобувача IV курсу, групи 4387
галузь знань 17 “Електроніка, автоматизація та
електронні комунікації”
спеціальність 174 “ Автоматизація,
комп’ютерно-інтегровані технології та
робототехніка ”

(прізвище та ініціали)

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

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Члени комісії _____
підпис (прізвище та ініціали)

підпис (прізвище та ініціали)

підпис (прізвище та ініціали)

Зміст

					174 4387 КП ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.					(Тема курсового проекту)	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.								
Н. Контр.						ХННІ НУК		
Затверд.								

Додаток 3

					174 4387 КП ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Навчальне видання

ФІЛІЩУК
Олександр Миколайович

ОСНОВИ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

*Методичні вказівки
до виконання курсового проекту*

*з галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»
Спеціальності:*

*174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
Освітньо-професійна програма: «Автоматизоване управління технологічними
об'єктами та комплексами»*

Формат 60×84¹/₁₆. Ум. друк. арк. 6,3. Тираж 100 пр. Зам. № 1436.

ВИДАВЕЦЬ

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025
E-mail: publishing@nuos.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

