

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

методичні рекомендації до виконання курсового проекту для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми здобуття вищої освіти

Рекомендовано до друку методичною радою Інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 18.09.2025, протокол № 1.

Укладач:

Ростислав Ставинський — канд. тех. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Віталій Мардзявко — асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

Олексій Садовий — канд. тех. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Андрій Ставинський — д-р техн. наук, професор, зав. кафедрою електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

© Миколаївський національний
аграрний університет, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ПРОЦЕС ОРГАНІЗАЦІЇ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ.....	7
1.1. Зміст та структура курсового проекту.....	7
1.2. Вимоги до титульного аркушу.....	8
1.3. Вимоги до анотації курсового проекту.....	9
1.4. Вступ курсового проекту.....	9
1.5. Розрахункова частина курсового проекту.....	9
1.6. Висновки.....	11
1.7. Список використаних джерел.....	11
1.8. Графічна частини курсового проекту.....	11
1.9. Оформлення додатків.....	12
1.10. Організація курсового проектування	12
1.11. Порядок захисту курсового проекту.....	13
2. ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ.....	14
3. ОСНОВНІ РОЗДІЛИ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ ТА МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ.....	17
3.1. Вступ.....	17
3.2. Розділ. Загальна характеристика механізму підйому мостового крана.....	18
3.3. Розділ. Технічні характеристики мостового крана та розрахунок потужності електропривода.....	20
3.4. Розділ. Вибір електродвигуна та редуктора механізму підйому.....	31
3.5. Розділ. Розрахунок механічних характеристик електропривода механізму підйому мостового крана.....	38
3.6. Розділ. Побудова природної та штучних характеристик електропривода механізму підйому.....	43

3.7. Розділ. Вибір апаратів керування і захисту електропривода механізму підйому мостового крана.....	46
3.8. Проектування схеми керування мостовим краном.....	50
3.9. Розділ. Охорона праці при роботі на кранах.....	51
3.10. Висновки.....	53
3.11. Правила використання та оформлення літературних джерел.....	55
3.12. Креслення.....	56
4. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ.....	58
СПИСОК ВИКРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	87
ДОДАТКИ.....	90

ВСТУП

Сучасний розвиток промисловості неможливий без використання вантажопідіймальних машин, серед яких важливе місце займають мостові крани. Вони широко застосовуються в металургії, машинобудуванні, енергетиці, транспортній та будівельній галузях для виконання вантажно-розвантажувальних операцій. Основним робочим вузлом мостового крана є механізм підйому, який забезпечує вертикальне переміщення вантажів та визначає продуктивність, безпечність і надійність усього обладнання.

Ефективність роботи механізму підйому значною мірою залежить від правильно обраного електропривода та схеми його керування. Оскільки експлуатація кранів супроводжується частими пусками, реверсами та змінними навантаженнями, до електроприводів висуваються підвищені вимоги щодо надійності, стійкості до перевантажень і точності регулювання швидкості. Також важливим аспектом є дотримання вимог охорони праці та забезпечення безпечних умов роботи оператора і обслуговуючого персоналу.

Метою даної курсової роботи є дослідження конструктивних особливостей механізму підйому мостового крана, виконання необхідних розрахунків для вибору електропривода, розробка схеми його керування та аналіз заходів захисту і безпечної експлуатації. У процесі виконання роботи вирішуються завдання, пов'язані з аналізом технічних характеристик підйомного механізму, вибором магнітного контролера, контакторів, реле захисту та інших апаратів, а також розробкою розділу з охорони праці.

Таким чином, виконання курсової роботи дозволяє закріпити знання з теоретичних дисциплін, набуті практичних навичок проєктування електроприводів та сформувані уявлення про комплексний підхід до створення сучасних вантажопідіймальних установок.

Дана методичка розроблена з метою надання студентам покрокових рекомендацій щодо виконання курсової роботи, присвяченої проєктуванню електропривода механізму підйому мостового крана. У ній представлено структуру

курсного проєкту, вимоги до оформлення та змісту окремих розділів, а також основні теоретичні положення, що необхідно враховувати під час виконання розрахунків і побудови схем керування. Методичка допомагає студентам систематизувати знання з електротехніки, автоматизації та охорони праці, а також сприяє формуванню практичних навичок розробки сучасних вантажопідіймальних систем.

1. ПРОЦЕС ОРГАНІЗАЦІЇ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ

1.1. Зміст та структура курсового проекту

Курсовий проект має строго визначену структуру. Його структура повинна відбивати логічну послідовність викладення матеріалу. Зміст курсового проекту повинен відповідати темі, мати чітке логічне поєднання теоретико-методичної, аналітичної та проектної частини. Курсовий проект виконують на підставі вивчення вітчизняної та зарубіжної літератури і періодичних видань із спеціальності та аналізу даних, отриманих під час проходження практики.

Курсовий проект повинен містити такі основні структурні елементи, розміщені в наступній послідовності:

- титульний аркуш;
- анотація;
- зміст;
- перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів (у разі необхідності);
- вступ;
- основна частина (розрахунків);
- висновки;
- список використаних джерел;
- додатки.

Кожну складову частину курсового проекту, в тому числі окремі розділи, необхідно починати з нового аркуша. За вказівками керівника дозволяється вводити нові частини проекту.

Кожен розділ курсового проекту може складатися з підрозділів, пунктів, підпунктів. Назви розділів і підрозділів слід виділяти жирним.

Обсяг курсового проекту повинен складати 30-45 сторінок тексту формату А4 без урахування списку використаних джерел та додатків. При цьому, обсяги

основних структурних частин курсового проекту повинні бути такими: вступ – 10 %, основна частина – 80%, висновки – 10 %.

Курсовий проект має бути з супровідним кресленнями, створеними в спеціалізованих програмах або з допомогою олівця і лінійки.

1.1.1. Загальні вимоги до оформлення пояснювальної записки

Формат – вертикальний, А4;

Розмір літер – 14;

Шрифт – Times New Roman;

Міжстроковий інтервал – 1.5;

Відступ абзацу – 1.25 см;

Вирівнювання – по ширині;

Поля зліва – 2.5 см до 3 см;

Поля праворуч – 1 см;

Поля внизу і вгорі – 2 см.

1.2. Вимоги до титульного аркушу

Титульний аркуш є першою сторінкою курсового проекту і містить основні дані про курсовий проект та її автора. Титульний аркуш заповнюється за строго визначеною формою (див. Додаток №1) та повина містити:

- найменування вищого навчального закладу, факультету та кафедри;
- назву курсового проекту;
- прізвище, ім'я автора;
- шифр групи в якій навчається автор;
- науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я наукового керівника;
- відведену графу для оцінки студента;
- рік виконання курсового проекту.

Розрахунки необхідно оформлювати за допомогою Microsoft Equation 3.0 або виконувати їх в програмі MatCad з подальшим відповідним оформленням. Необхідно прописувати розрахунки відразу після представлення формули, за якою відбувається розрахунок, також необхідно надати пояснення кожному розрахунковому елементу. Формули необхідно пронумерувати відповідно до розділу, наприклад:

Довжина шляху витоку для ізоляторів з скла або порцеляни, розраховується за формулою, см:

$$L_3 = \lambda_e \cdot U_{\max} \cdot k_{\text{ш}} = 0,3 \cdot 220 \cdot 1,1 = 72,6 \quad (1.1)$$

де λ_e – питома ефективна довжина шляху витоку для ступеня забруднення 3, см/кВ; $U_{\max}$ – найбільша робоча міжфазна напруга, кВ; $k_{\text{ш}}$ – коефіцієнт використання довжини шляху витоку.

Таблиці, рисунки подаються безпосередньо після абзацу, де вони згадані вперше або на наступній сторінці: Рис. 2.3 або Таблиця №1.2 (курсивом), що означає третій рисунок другого розділу або друга таблиця першого розділу. Позначка Таблиця 1.2 ставиться у правому верхньому куті над відповідним заголовком таблиці, який розміщується над таблицею. Позначка Рис. 1.2, та назву рисунка розміщують під ілюстрацією.

Заголовки граф в таблиці слід починати з великої літери, підзаголовки – із малих, якщо вони є продовженням заголовків, та з великих, якщо вони є окремими реченнями. При переносі частини таблиці на інший аркуш слово “Таблиця”, номер її і назву вказують один раз справа над першою частиною таблиці, над іншими частинами пишуть слова Продовження таблиці 1.2.

При написанні роботи потрібно давати посилання на літературні джерела, з яких запозичені матеріали. Оформлення посилання в тексті: [3, 63] – означає, що цитата запозичена із 63 сторінки 3 джерела в бібліографії. Посилання на декілька видань оформлюється так: [5; 7; 10; 23] (вказуються порядкові номери у списку джерел). В окремих випадках, коли номер сторінки вказати неможливо, скажімо в

Інтернет-публікації, то посилання оформляється так: [23], де 23 – номер джерела у списку.

1.6. Висновки

Логічним завершенням курсового проекту є висновки. Головна їх мета – підсумки проведеної роботи. Висновки подаються у вигляді окремих лаконічних положень, методичних рекомендацій. Важливо, щоб вони відповідали поставленим завданням. У висновках необхідно зазначити не тільки те позитивне, що вдалося виявити в результаті вивчення теми, а й недоліки та проблеми практичного функціонування економічних систем, а також конкретні рекомендації щодо їх усунення. Для виконання висновків спирайтесь на приклад в додатку 4.

1.7. Список використаних джерел

Кількість використаних джерел залежить від теми і завдань курсового проекту. Не слід включати до списку ті роботи, на які немає посилань у тексті курсового проекту і які фактично не були використані. Кожне включене у список джерело повинне мати відображення у тексті проекту. Оптимальне число джерел можна визначити через зіставлення з обсягом курсового проекту. Вважається, що на одну сторінку основного тексту курсового проекту повинне припадати одне джерело. Тобто кількість джерел має відповідати обсягу проекту $\pm 25\%$.

Оформлення бібліографічних посилань у списку використаних джерел необхідно виконувати за стандартом ДСТУ 8302:2015. Оформлення можна виконати онлайн за посиланням: <https://www.grafiati.com/uk/>

1.8. Графічна частини курсового проекту

Курсовий проект має бути з супровідним кресленнями, створеними в спеціалізованих програмах або з допомогою олівця і лінійки. Обсяг графічної

частини курсового проекту не повинен перевищувати трьох аркушів формату А1. Графічне оформлення креслень має бути акуратним, а товщина ліній повинна відповідати вимогам ДСТУ 2.612:2014.

Для надписів слід використовувати тільки креслярський шрифт відповідного розміру за ДСТУ 2.612:2014. Кінематичні схеми механізмів й структурних груп виконуються згідно вимогам ГОСТ 2.703-68 та 2.707-68. Рамку поля креслення проводять на відстані 20 мм від лівого боку зовнішньої рамки і на відстані 5 мм від всіх інших сторін.

1.9. Оформлення додатків

Додатки оформляються як продовження документа на його наступних сторінках, розташовуючи в порядку посилань на них у тексті курсового проекту. Кожен додаток необхідно починати з нової сторінки вказуючи зверху посередині рядка слово «Додаток» і через пропуск його позначення.

1.10. Організація курсового проектування

Загальне керівництво курсовим проектуванням здійснює відповідальний викладач. Безпосереднє керівництво курсовим проектуванням здійснюється, як правило, кваліфікованими викладачами з дисципліни.

Керівник проводить заняття та консультації із всіх питань курсового проекту за рахунок часу, відведеного навчальними планами на курсове проектування з даної дисципліни. Крім того, він має забезпечити студентів всіма методичними матеріалами, розробити графік виконання курсового проекту.

Перед початком курсового проектування проводиться вступне заняття, на якому пояснюється завдання на курсовий проект та його значення для підготовки спеціаліста відповідного профілю, повідомляється приблизний план пояснювальної записки, вимоги до графічної частини проекту, приблизний розподіл часу на виконання окремих частин завдання. Після закінчення оформлення

курсового проекту пояснювальну записку, разом з графічною частиною необхідно скласти у папку.

Виконані та підписані студентами курсові проекти у визначений термін здаються керівнику курсового проекту, який перевіряє якість роботи і її відповідність обсягу, встановленому у завданні.

1.11. Порядок захисту курсового проекту

Завершений, переплетений та підписаний студентом курсовий проект здається на кафедру. На кафедрі проект проходить візування наукового керівника про допуск студента до захисту, та в разі допуску до захисту – реєструється у відповідному журналі. Керівник курсового проекту, виконує огляд та ознайомлюється з проектом.

Захист курсового проекту проводиться перед комісією у складі двох трьох викладачів кафедри за участю керівника курсового проекту. Готуючись до захисту студент готує коротку письмову доповідь (виступ) з використанням графічного матеріалу у форматі А2-А3. У виступі автор обґрунтовує актуальність теми обраного курсового проекту, характеризує результати проведеного аналізу, узагальнює і наводить конкретні пропозиції. Для розкриття основних положень виконаного проекту студенту надаються 10-15 хвилин. Після виступу студент відповідає на запитання членів комісії.

Загальна тривалість захисту проекту одного студента не повинна перевищувати 20-25 хвилин. Після захисту курсових проектів комісія оцінює їх. Результати захисту курсового проекту визначаються оцінками «відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно» і оголошуються студентам у день захисту.

2. ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ

Тема: Розрахунок електропривода механізму підйому мостового крана.

Мета роботи: закріпити знання з дисципліни «Електроприводи», набуті практичних навичок розрахунку потужності, вибору електродвигуна, визначення режимів його роботи та побудови навантажувальних і механічних характеристик підйомного механізму.

Провести розрахунок електропривода механізму підйому мостового крану та побудувати його механічні характеристики.

Технічні дані крану обрати з таблиці 1-2 відповідно до варіанту заданого викладачем.

У таблиці прийняті наступні позначення: вантажопідйомність головного гака m , швидкість підйому головного гака v_H ; швидкість переміщення крану $v_{кр}$; висота підйому головного гаку H ; маса головного гаку m_o ; діаметр барабана лебідки головного гаку D ; довжина переміщення мосту L ; ККД механізму підйому під навантаженням $\eta_{нагр}$; ККД механізму підйому при холостому ході η_{xx} ; ККД редуктора $\eta_{ред}$; час на зачеплення та відчеплення вантажу t_{02} , t_{04} .

Режим роботи крану $TB_{ном}=40$.

Таблиця 2.1. – Вихідні дані для студентів групи Ен 1

варіант	m , т	v_H , м/хв	$v_{кр}$, м/хв	H , м	m_o , т	D , мм	L , м	$\eta_{нагр}$	η_{xx}	$\eta_{ред}$	t_{02}, t_{04} с
1	65	6,2	70	6	1,1	600	80	0,82	0,42	0,92	190
2	70	6	65	5	1,2	650	85	0,83	0,43	0,93	200
3	75	5,8	60	10	1,3	700	90	0,84	0,4	0,94	210
4	80	4,0	45	10	0,8	950	90	0,85	0,45	0,8	250
5	100	3,5	30	12	0,75	900	80	0,75	0,4	0,85	300
6	130	4,0	40	9	2,0	1000	75	0,8	0,35	0,8	270
7	140	4,8	35	7	1,8	980	82	0,85	0,45	0,85	290
8	60	7,5	85	12	1,3	950	95	0,7	0,5	0,9	245

9	60	6,5	35	8	1,3	600	90	0,8	0,4	0,95	200
10	75	4,5	60	7	1,4	650	95	0,81	0,41	0,85	210
11	90	4,0	50	6	1,5	700	50	0,82	0,42	0,86	220
12	105	5,0	40	5	0,5	750	55	0,83	0,43	0,87	230
13	45	4,6	60	10	0,6	800	60	0,84	0,44	0,88	240
14	50	4,4	55	9	0,8	850	65	0,85	0,45	0,89	250
15	55	4,2	50	8	0,9	900	70	0,8	0,4	0,9	180
16	60	4,0	45	7	1,0	950	75	0,81	0,41	0,91	185
17	40	8,0	65	9	0,6	650	55	0,85	0,45	0,88	220
18	60	5,0	60	8	0,7	700	60	0,8	0,4	0,89	230
19	80	7,5	55	7	0,8	750	65	0,81	0,41	0,9	240
20	100	4,0	50	6	0,9	800	70	0,82	0,42	0,91	250
21	110	8,0	45	5	1,0	850	75	0,83	0,43	0,92	180
22	120	7,0	40	10	1,1	900	80	0,84	0,44	0,93	185
23	45	8,0	40	9	1,2	950	85	0,85	0,45	0,94	190
24	100	7,5	85	5	1,3	1000	100	0,83	0,43	0,86	200
25	90	7,0	60	7	1,1	750	90	0,83	0,44	0,9	220
26	60	7,5	50	8	1,0	800	70	0,84	0,45	0,91	240

Таблиця 2.2. – Вихідні дані для студентів групи Ен 2

варіант	m , т	v_n , м/хв	$v_{кр}$, м/хв	H , м	m_o , т	D , мм	L , м	$\eta_{нагр}$	$\eta_{хх}$	$\eta_{ред}$	t_{02}, t_{04} с
1	120	6,3	54	12	0,85	650	55	0,8	0,55	0,77	215
2	110	5,5	35	6	0,9	650	65	0,84	0,44	0,9	240
3	115	8,0	70	5	1,1	700	70	0,85	0,45	0,91	250
4	120	7,0	65	10	1,2	750	75	0,8	0,4	0,92	180
5	30	6,0	60	9	1,3	800	80	0,81	0,41	0,93	185
6	50	6,5	55	8	1,4	850	85	0,8	0,4	0,94	180
7	70	4,5	50	7	1,5	900	90	0,81	0,41	0,95	185

8	90	4,0	80	6	1,2	950	95	0,82	0,42	0,85	190
9	70	6,0	60	8	1,3	900	90	0,82	0,42	0,93	250
10	75	5,0	50	9	1,4	950	95	0,83	0,43	0,94	180
11	80	4,5	40	6	1,5	1000	1000	0,84	0,44	0,95	185
12	85	6,0	65	5	0,55	400	40	0,85	0,45	0,85	190
13	90	8,0	75	10	0,35	450	45	0,8	0,4	0,86	200
14	95	8,0	65	9	0,5	500	50	0,81	0,41	0,87	210
15	100	5,0	45	8	0,6	550	55	0,82	0,42	0,88	220
16	105	4,5	40	7	0,75	600	60	0,83	0,43	0,89	230
17	30	8,0	70	10	0,45	500	50	0,8	0,4	0,85	180
18	35	7,0	60	9	0,65	550	55	0,81	0,41	0,86	185
19	40	6,0	50	8	0,75	600	60	0,82	0,42	0,87	190
20	45	5,0	45	7	0,85	650	65	0,83	0,43	0,88	200
21	50	4,5	40	6	0,95	700	70	0,84	0,44	0,89	210
22	55	4,0	35	5	1,0	750	75	0,85	0,45	0,9	220
23	60	8,0	80	10	1,1	800	80	0,8	0,4	0,91	230
24	65	7,0	70	9	1,2	850	85	0,81	0,41	0,92	240

3. ОСНОВНІ РОЗДІЛИ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ ТА МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ

3.1. Вступ

Вимоги до написання вступу курсового проекту:

1. Обсяг

- Вступ має складати не менше 1 сторінки друкованого тексту.

2. Зміст

У вступі необхідно відобразити:

- актуальність теми – чому дана проблема чи завдання важливі для сучасних умов (технічних, економічних, виробничих тощо);

- характеристика стану питання – короткий огляд того, як дана проблема вирішується на практиці та які існують науково-технічні підходи;

3. сутність і значущість завдання – що саме потрібно реалізувати, які завдання стоять перед студентом;

- вихідні дані для розробки теми – технічні параметри, нормативи, умови роботи об'єкта;

- обґрунтування необхідності дослідження – чому виконання даного проекту є важливим, які проблеми або потреби воно вирішує.

4. Структура

- Вступ має бути логічно пов'язаним із подальшими розділами роботи та відображати основний напрямок дослідження.

- Виклад повинен бути стислим, послідовним і зрозумілим, без зайвих відхилень від теми.

5. Стиль написання

- Використовується офіційно-науковий стиль, без емоційних висловлювань.

- Рекомендується застосовувати узагальнюючі конструкції: «у сучасних умовах...», «актуальність теми полягає у...», «вихідними даними для дослідження є...».

6. Призначення

- Вступ повинен підготувати читача до основної частини курсового проекту, дати загальне уявлення про його мету, завдання та структуру.

3.2. Розділ. Загальна характеристика механізму підйому мостового крана

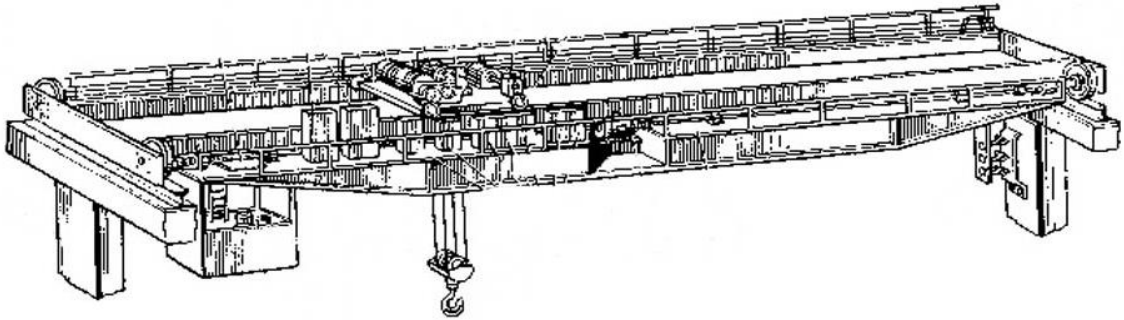
Першим розділом при виконанні курсового проекту є дослідження об'єкта розрахунку, оскільки саме з цього етапу формується вихідна база для подальших технічних рішень. У даному випадку таким розділом є «Загальна характеристика механізму підйому мостового крана», де розглядається призначення механізму, його конструктивна схема, принцип дії та основні технічні характеристики. Об'єктом дослідження виступає підйомний механізм, що забезпечує вертикальне переміщення вантажів у межах робочої зони та визначає продуктивність і безпечність роботи крана. У межах розділу детально аналізуються основні складові частини — електродвигун, редуктор, барабан із канатом, вантажний блок з гаком та гальмівний пристрій, які в комплексі забезпечують працездатність і надійність механізму. Також досліджуються умови експлуатації, режими навантаження та фактори, що впливають на довговічність і ефективність роботи.

Таким чином, перший розділ не лише описує об'єкт дослідження, а й дає студенту можливість навчитися аналізувати технічні системи, оцінювати їх робочі параметри та робити висновки, які стануть основою для подальших інженерних розрахунків у курсовій роботі.

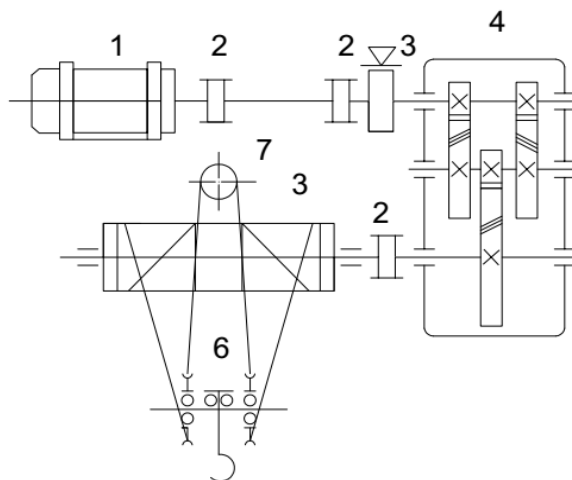
У цьому розділі повинна бути подана інформація, що характеризує призначення, конструктивні особливості та умови експлуатації механізму підйому мостового крана. Необхідно:

- описати призначення та роль підйомного механізму у складі мостового крана;

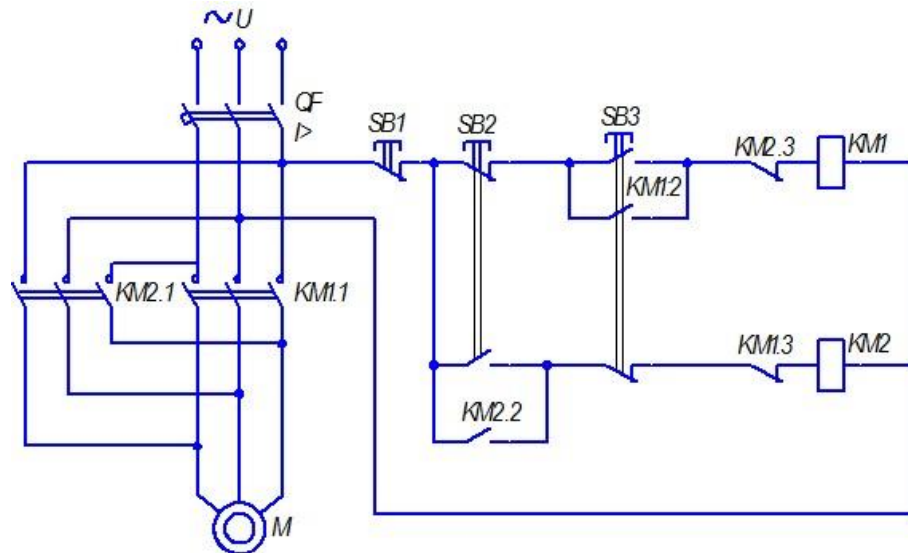
- подати основні технічні характеристики (вантажопідйомність, висота підйому, швидкість підйому та опускання вантажу, режим роботи, тип приводу);
- охарактеризувати основні вузли та їх функції (електродвигун, редуктор, барабан, канат, гальмівний пристрій, підвісний блок з гаком);
- вказати особливості роботи у виробничих умовах (частота включень, умови навколишнього середовища, класифікація режиму роботи за ГОСТ чи FEM).



Приклад - Рис. 3.1. Загальний вид мостового крану



Приклад - Рис. 3.2. Кінематична схема механізму підйому головного гака: 1 - двигун; 2 - муфта; 3 - гальмо; 4 - редуктор; 5 - барабан; 6 - поліспаст; 7 - нерухомий блок поліспаста.



Приклад - Рис. 3.3. Схема керування мостового крана

3.3. Розділ. Технічні характеристики мостового крана та розрахунок потужності електропривода

Курсову роботу доцільно розпочати з розрахунку статичних навантажень двигуна механізму підйому мостового крана, оскільки саме цей етап є базовим для подальших технічних обчислень та вибору обладнання. Визначення статичних навантажень дозволяє встановити реальні робочі умови експлуатації електродвигуна, оцінити вплив маси вантажу, гака та конструктивних елементів на силове навантаження системи. Отримані результати стають основою для подальших розрахунків потужності, визначення режимів роботи та побудови навантажувальних діаграм, що у підсумку дає змогу обґрунтовано обрати оптимальний електропривод для надійної та ефективної роботи кранового механізму.

У даному розділі першочергово враховуються технічні дані крана, оскільки вони визначають основні експлуатаційні умови роботи електропривода. До них належать: вантажопідйомність головного гака m т, швидкість його підйому v м/хв, швидкість переміщення самого крана $V_{кр}$ м/хв, висота підйому H , м, маса гака m_0 т, діаметр барабана лебідки D мм, довжина переміщення мосту L м. Також враховуються коефіцієнти корисної дії підйомного механізму: при роботі під

навантаженням $\eta_{\text{нав}}$, при холостому ході $\eta_{\text{хх}}$, а також ККД редуктора $\eta_{\text{ред}}$. Окремо береться до уваги час на зачеплення та відчеплення вантажу (t_{02}, t_{04}) та номінальний режим роботи крана з тривалістю вмикання $\text{ПВ}_{\text{ном}}$.

Сукупність цих параметрів є вихідними даними для виконання розрахунків потужності електродвигуна, визначення тривалості робочих циклів та побудови навантажувальних діаграм, що забезпечує подальший вибір оптимальної моделі електропривода.

1. Розрахунок розпочнемо з визначення статичної потужності на валу електродвигуна підйомної лебідки під час піднімання вантажу, що здійснюється за наступною формулою:

$$P_{\text{ст.гр.}} = \frac{(G + G_0) \cdot V_{\text{нід}} \cdot 10^{-3}}{\eta_{\text{нагр}}}, \text{ кВт.} \quad (1)$$

де G – вага вантажу, який піднімається; m – вантажопідйомність головного гака; G_0 – вага вільного захоплюючого гака; $V_{\text{нід}}$ – швидкість підйому вантажу лебідкою; $\eta_{\text{нагр}}$ – ККД підйомного механізму під навантаженням.

Вага вантажу, який піднімається G , визначається наступною формулою:

$$G = m \cdot g, \text{ Н.} \quad (2)$$

Вантажопідйомність головного гака m , беремо з вихідних даних (табл. 1-2).

Вага вільного захоплюючого гака, G_0 визначається за формулою:

$$G_0 = m_0 \cdot g, \text{ Н.} \quad (3)$$

Швидкість підйому вантажу лебідкою, $V_{\text{нід}}$ визначаємо за формулою:

$$V_{\text{нід}} = V_n \frac{1}{60}, \text{ м/с.} \quad (4)$$

ККД підйомного механізму під навантаженням $\eta_{\text{нагр}}$, беремо з вихідних даних (табл. 1-2).

2. Розрахунок потужності електродвигуна при підйомі ненавантаженого гака здійснюється за наступною формулою:

$$P_{\text{стн}} = \frac{G_0 \cdot V_{\text{нід}} \cdot 10^{-3}}{\eta_{\text{хх}}}, \text{ кВт.} \quad (5)$$

де G_0 – вага вільного підйомного гака, що визначається за формулою (3); $V_{n\dot{d}}$ – швидкість підйому вантажу, визначається з формули (4); η_{xx} – ККД підйомного механізму при холостому (неробочому) ході, виходячи з вихідних даних (табл. 1-2).

3. Розраховую потужність на валу електродвигуна, яка зумовлена лише вагою спускаемого вантажу:

$$P_{zp} = (G + G_0) \cdot V_{n\dot{d}} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт.} \quad (6)$$

де G_0 – вага порожнього ненавантаженого захоплюючого пристрою з формули (3); G – максимальна вага вантажу, який може бути піднятим за формулою (2).

4. Далі виконується розрахунок потужності електродвигуна, що зумовлена дією сили тертя, оскільки цей фактор суттєво впливає на реальне навантаження механізму підйому. Для визначення відповідних значень використовуються вихідні дані та результати, отримані за формулами (2–4) та вихідними даними табл. 1-2.:

$$P_{mp} = \frac{G + G_0}{\eta_{назр}} \cdot (1 - \eta_{назр}) \cdot V_{n\dot{d}} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт.} \quad (7)$$

У результаті проведених розрахунків необхідно враховувати, як працює електродвигун. Якщо $P_{zp} \geq P_{mp}$, то це означає, що двигун працює в режимі гальмівного пуску. Тобто це режим роботи електродвигуна, який допомагає уникнути різких ривків і перевантажень в електромережі. Коли двигун запускається, він спочатку отримує знижене напруження, що дозволяє поступово нарощувати оберти. Це допомагає зменшити навантаження на механіку і електричні компоненти.

Режим гальмівного пуску - це такий спосіб запуску електродвигуна, коли він не отримує одразу повне робоче напруження, а починає працювати поступово. Це робиться для того, щоб:

- уникнути різкого стрибка струму в електромережі під час старту;
- не створювати ривків і ударних навантажень на механічні частини крана (лебідку, барабан, канати тощо);
- забезпечити більш плавне нарощування обертів двигуна;
- знизити зношування деталей і продовжити термін служби обладнання.

Тобто двигун у цьому режимі наче "розганяється м'яко", що робить роботу крана стабільною, без перевантажень для механіки й електрики.

Якщо двигун запускається навпаки - без гальмівного (плавного) пуску, тобто відразу під'єднується до повної напруги, то відбувається кілька негативних ефектів:

- Стрибок струму у кілька разів більший за номінальний (пусковий струм може перевищувати робочий у 5–7 разів). Це створює велике навантаження на електромережу й може призвести до її перевантаження.
- Виникають різкі ривки під час запуску лебідки: канати, барабани та гак відчують ударні навантаження.
- Високе динамічне навантаження спричиняє прискорений знос механічних деталей (підшипників, муфт, редуктора).
- Зростає ймовірність аварійних ситуацій, наприклад, обриву каната чи пошкодження вантажу.

Тобто без гальмівного пуску система працює "жорстко": двигун одразу намагається розвинути максимальний момент, що небезпечно і для електропривода, і для всього підйомного механізму.

5. Розраховуємо потужність, що приходить на вал електродвигуна при гальмівному пуску. Всі величини обираємо відповідно формул 2-4 та виходячи з вихідних даних (табл. 1-2).

$$P_{\text{спус}} = (G + G_0) \cdot V_{\text{нід}} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta_{\text{нав}}} \right) \cdot 10^{-3}, \text{ кВт.} \quad (8)$$

6. Розраховуємо потужність, що приходить на вал електродвигуна при порожньому пуску:

$$P_{\text{сп.гак}} = G_0 \cdot V_{\text{нід}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{хх}}} - 2 \right) \cdot 10^{-3}, \text{ кВт.} \quad (9)$$

7. Розраховуємо час кожного з циклів роботи механізму підйому, використовуємо відповідні формули.

Визначаю переміщення по вертикалі:

$$t_{pn} = \frac{H}{V_{ni\partial}}, \quad (10)$$

де H – висота підйому головного гака відповідно варіанту; $V_{ni\partial}$ – швидкість підйому вантажу, з формули (4).

Для переміщення по горизонталі:

$$t_{pn} = \frac{L}{V_{кр}}, \quad (11)$$

де L – довжина переміщення мосту відповідно до варіанту (табл. 1-2); $V_{кр}$ – швидкість крана, визначається відповідно до табл.1-2.

Далі виконуємо поетапний розрахунок тривалостей операцій робочого циклу механізму підйому, спираючись на вихідні дані та виведені співвідношення.

а) Обчислюємо час підйому вантажу на висоту H , використовуючи H із «дано» та швидкість підйому $V_{ni\partial}$ за формулою (4).

б) Визначаємо час горизонтального переміщення вантажу на довжину L : величини L і швидкість руху крана $V_{кр}$ беремо з «дано».

в) Розраховуємо час спуску вантажу за аналогією до (час підйому вантажу на висоту H), використовуючи ту саму швидкість із (4).

г) Додаємо час на зачеплення/відчеплення (відтягнення) гака відповідно до вихідних даних (задано t_{02}, t_{04}).

д) Визначаємо час підйому порожнього гака, із швидкістю за (4).

е) Розраховуємо час повернення візка крана у початкове положення, використовуючи L та швидкість за $V_{ni\partial}$.

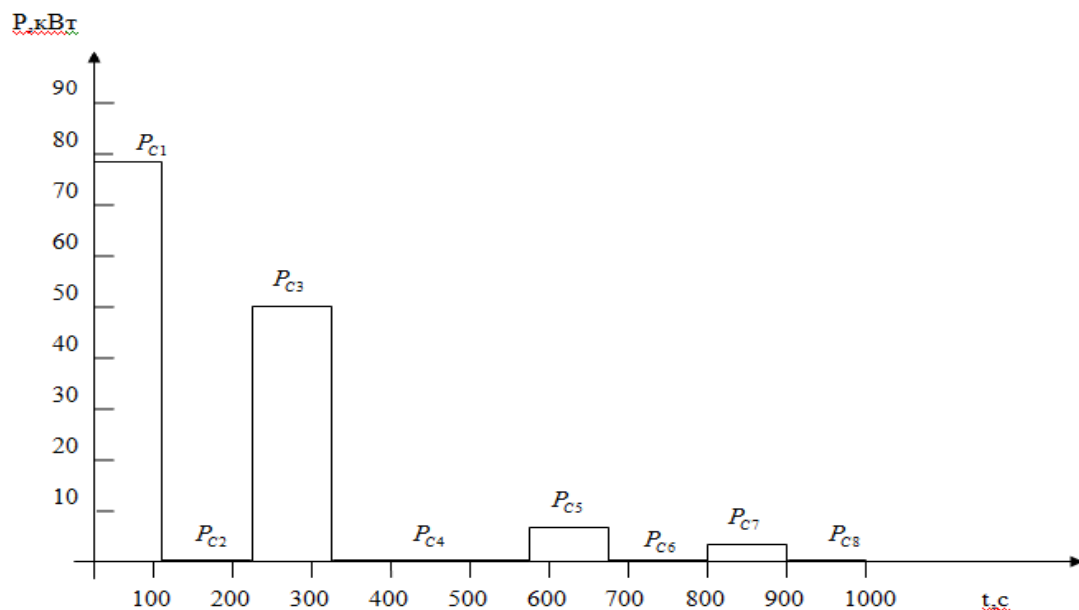
ж) Обчислюємо час спуску порожнього гака, із застосуванням швидкості (4).

Отримані результати розрахунків доцільно систематизувати для кожного етапу робочого циклу підйомного механізму. Для цього всі обчислені часові інтервали та відповідні значення потужності заносяться у таблицю робочого циклу (табл. 3.1), що дозволяє наочно оцінити тривалість і навантаження кожної операції.

Приклад - Таблиця 3.1 – Результати розрахунку

Параметри / Ділянка	1	2	...	...	...	...	...	n
P , кВт.								
t , с.								

На основі цих даних будується навантажувальна діаграма (приклад, рис. 3.4), яка відображає зміну потужності двигуна на валу під час всього циклу підйому: від підйому вантажу до спуску порожнього гака та повернення візка в початкове положення. Такий підхід дозволяє не лише візуалізувати режим роботи механізму, а й визначити дійсну тривалість роботи електродвигуна, час пауз, пікові навантаження, що є критичним для вибору оптимального електропривода та забезпечення надійної роботи крана.



Приклад - Рис. 3.4. Навантажувальна діаграма механізму підйому мостового крана

8. За навантажувальною діаграмою визначимо дійсну тривалість роботи електропривода двигуна механізму підйому. Для цього необхідно знайти сумарний час роботи та пауз електродвигуна:

$$\sum t_p = t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p4}, \quad (12)$$

де t_{p1} – час необхідний для підйому вантажу на висоту H ; t_{p2} – час необхідний для спуску вантажу; t_{p3} – час необхідний для підйому пустого гака; t_{p4} – час необхідний для спуску порожнього гака; всі дані беремо з таблиці 3.

$$\sum t_o = t_{o1} + t_{o2} + t_{o3} + t_{o4}, \quad (13)$$

де t_{o1} – час переміщення вантажу на довжину; t_{o2} – час для відтягнення гаку; t_{o3} – час повернення візка в початкове положення; t_{o4} – час необхідний для відтягнення гака; всі дані беремо з таблиці 3.1.

Оскільки відомі характеристики режиму роботи електродвигуна, зокрема тривалість робочої фази та пауз між її повтореннями, тому **сумарний час його роботи можна визначити на основі аналізу всіх складових циклу.**

Для повного розрахунку необхідно встановити, скільки триває кожна активна фаза, скільки часу двигун перебуває в стані паузи, а також скільки загалом таких циклів передбачено у певному періоді. Це дозволить оцінити загальний обсяг навантаження на електродвигун та визначити його фактичний режим експлуатації.

В свою чергу, час пауз електродвигуна **визначається як різниця між загальною тривалістю одного повного циклу та тривалістю активної роботи.** Цей показник важливий для оцінки теплового режиму роботи двигуна і правильного підбору його параметрів.

9. Знайдемо дійсну тривалість роботи електродвигуна, оскільки цей показник є ключовим для правильного підбору обладнання, оцінки навантаження та визначення режиму експлуатації.

Фактична (дійсна) тривалість роботи дозволяє врахувати як періоди активної дії двигуна, так і паузи, що виникають між робочими циклами. Це важливо для того, щоб:

- Оцінити теплове навантаження на електродвигун і переконатися, що воно не перевищує допустимих меж;
- Правильно визначити клас ізоляції та спосіб охолодження, які відповідають реальним умовам роботи;

- Підібрати двигун відповідної потужності, уникнувши як перевантаження, так і надмірного резервування;
- Провести енергоефективний розрахунок, що дозволяє знизити витрати на експлуатацію;
- Забезпечити надійність і довговічність обладнання, враховуючи режим роботи у реальних умовах.

Таким чином, обчислення дійсної тривалості роботи є важливим етапом при проектуванні, виборі та оцінці роботи електроприводів у будь-якому технічному процесі.

Дійсну тривалість роботи електродвигуна, визначемо за формулою:

$$PB_o = \frac{\sum t_p}{\sum (t_p + t_o)} \cdot 100\%, \quad (14)$$

де $\sum t_o$ та $\sum t_p$ беремо відповідно формул 12 та 13.

10. Визначаю еквівалентну потужність електродвигуна за сумарний час роботи:

$$P_{екв} = \sqrt{\frac{P_{c1}^2 t_1 + P_{c2}^2 t_2 + P_{c3}^2 t_3 + P_{c4}^2 t_4}{\sum t_p}}, \quad (15)$$

де P_{c1} – статична потужність на валу електродвигуна підйомної лебідки під час підйомі вантажу з формули (1); P_{c2} – потужність на валу електродвигуна під час гальмівному спуску вантажу відповідно (8); P_{c3} – потужність двигуна при підйомі пустого гака з формули (5); P_{c4} – потужність на валу електродвигуна при спуску порожнього гака по формулі (9);

11. Перераховуємо еквівалентну потужність до стандартної, згідно з тривалості режиму роботи кранового механізму:

$$P_{ст} = P_{екв} \cdot \sqrt{\frac{PB_o}{PB_n}}, \text{ кВт.} \quad (16)$$

де PB_n – номінальна тривалість роботи електродвигуна.

ПВ (тривалість включення) - це відсоткове відношення часу, протягом якого електродвигун знаходиться у ввімкненому стані (тобто працює під навантаженням), до загального часу одного повного робочого циклу (робота + пауза).

- Оцінити теплове навантаження на електродвигун - чим більша ПВ, тим вища температура нагріву;
- Правильно підібрати електродвигун відповідно до реальних умов експлуатації - двигуни з низькою ПВ можуть бути менших габаритів, оскільки працюють з паузами для охолодження;
- Запобігти перегріву та передчасному зносу двигуна;
- Застосовувати двигуни у циклічних процесах (наприклад, підйомно-транспортні механізми, верстати, компресори), де робота чергується з перервами.

Приклад:

Якщо двигун працює 3 хвилини, а потім 7 хвилин охолоджується, то повний цикл - 10 хвилин, а ПВ = 30%.

12. Визначемо розрахункову потужність електродвигуна, використовуючи формулу:

$$P_{\text{двиг}} = \frac{P_{\text{см}} \cdot K_z}{\eta_p}, \text{ кВт.} \quad (17)$$

де $P_{\text{см}}$ – стандартизована потужність двигуна, яку визначили у формулі (16); K_z – коефіцієнт запасу, для електропривода приймає вигляд; η_p – ККД редуктора, відповідно варіанту, (табл. 2.1-2.2).

13. Визначаю кутову швидкість для лебідки підйомного механізму мостового крану:

$$\omega_n = \frac{2 \cdot V_n}{D}, \text{ рад/с.} \quad (18)$$

де V_n – швидкість піднімання вантажу згідно з формулою (4); D – діаметр барабана лебідки головного гака відповідно варіанту, (табл. 2.1-2.2).

14. Визначаємо кількість обертів лебідки за хвилину:

$$\omega_n = \frac{30 \cdot \omega_n}{\pi}, \text{ об/хв.} \quad (19)$$

де ω_d – кутова швидкість з якою обертається лебідка.

15. Використовуючи інтернет-джерела та спираючись на попередні розрахунки, можна попередньо обрати електродвигун для механізму підйому мостового крана.

Щоб попередньо обрати електродвигун для мостового крана, насамперед потрібно визначити **розрахункову потужність**, яка відображає фактичне навантаження на привід у конкретних умовах експлуатації. Вона розраховується з урахуванням маси вантажу, швидкості підйому або переміщення, передавальних механізмів, а також коефіцієнта запасу і ККД.

Після цього обов'язково враховується **режим роботи електродвигуна**, оскільки для кранів типовим є переривчасто-короткочасний режим із тривалістю включення (ПВ) 25%, 40% або 60%. Це означає, що двигун працює лише частину часу циклу, а решту - перебуває в паузі для охолодження. Завдяки цьому можна обрати електродвигун з **номінальною потужністю, меншою за розрахункову**, але здатний працювати в заданому режимі без перегріву.

Таким чином, розрахункова потужність є базовим орієнтиром для підбору двигуна, але остаточний вибір повинен враховувати і теплові, і механічні навантаження, характерні для режиму роботи мостового крана.

16. Після обрання електродвигуна необхідно оформити його зображення та детально занести технічні характеристики для подальшого аналізу та використання у проекті.



Приклад - Рис. 3.5. Реальний вигляд електродвигуна МТН 611-10

Приклад - Таблиця 3.2. – Основні характеристики двигуна МТН 612-10

Двигун	P , кВт	N , об/хв	Коеф потужнос.	Струм статора	Струм ротора	КПД, %	$M_{max}/$ M_n	m , кг
МТН 612-10	60,0	570	0,78	147	154	85,0	3,2	774,0
Габарити l30xh31xd30, мм		Діаметр вала d_1 , мм	Довжина вала, мм	Висота вала h , мм	Кріплення по лапам, мм			
					110		b10	
1170x775x605		90	170	315	445		520	

17. Наприкінці цього розділу доцільно сформулювати узагальнюючий висновок, який підсумовує проведений аналіз і обґрунтовує технічні рішення.

Приклад - Висновок: У цьому розділі були проаналізовані робочі параметри статичних навантажень мостового крана та його основного робочого елемента - електродвигуна. У дослідженні визначено маси крана у стані без навантаження та під навантаженням. Також виконано розрахунок потужності на різних етапах робочого циклу й визначено тривалість кожного з них. На основі отриманих даних побудовано діаграму навантаження для обраного режиму роботи. Додатково розраховано загальний час роботи й простою. Це дозволяє комплексно оцінити навантаження на електродвигун, обґрунтовано підібрати його основні параметри та забезпечити відповідність режиму експлуатації заданим технічним вимогам.

3.4. Розділ. Вибір електродвигуна та редуктора механізму підйому

Після виконання попередніх розрахунків і вибору типу електродвигуна для механізму підйому мостового крана необхідно здійснити перевірку правильності

цього вибору. Перевірка включає зіставлення розрахункової потужності з номінальною потужністю обраного двигуна, а також оцінку відповідності основних технічних характеристик - таких як пусковий момент, частота обертання, тривалість включення (ПВ) та тип режиму роботи (наприклад, S3 або S4). Крім того, перевіряється здатність двигуна витримувати динамічні навантаження, що виникають при пуску, зупинці та зміні напрямку руху. У разі невідповідності хоча б одного з параметрів, необхідно або переглянути вибір двигуна, або внести коригування в розрахункові умови. Така перевірка є важливою для забезпечення надійної та безпечної роботи механізму підйому в реальних умовах експлуатації.

1. Перевірку правильності вибору електродвигуна виконується в наступній послідовності:

Обраний електродвигун має задовольняти наступні умови:

$$P_{ном} \geq P_{ов}, \quad (20)$$

Обраний електродвигун має задовольняти наступні умови: потужність обраного двигуна повинна бути більшою за розрахункову потужність, що забезпечує необхідний запас на випадок пікових навантажень і гарантує надійну роботу механізму без перевантаження. Такий вибір дозволяє врахувати можливі відхилення в умовах експлуатації, динамічні навантаження під час пуску й гальмування, а також забезпечити тривалий ресурс двигуна без перегріву.

2. Для зручності подальших розрахунків доцільно виписати основні технічні характеристики обраного електродвигуна, які будуть використані при перевірках і моделюванні його роботи в складі механізму підйому. До таких характеристик належать:

Потужність (P), кВт – номінальна потужність двигуна;

Частота обертання (n), об/хв – швидкість обертання вала при номінальному навантаженні;

Струм у статорі, А – номінальний струм, що споживається статором;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності, який характеризує фазове зсування між струмом і напругою;

ККД (η) – коефіцієнт корисної дії, що відображає ефективність перетворення електричної енергії в механічну;

Струм ротора, A – номінальний струм у вторинному ланцюгу (для двигунів з фазним ротором);

Напруга ротора, B – напруга на обмотці ротора (у разі фазного виконання);

Момент інерції (J), $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції ротора двигуна, що враховується при аналізі динаміки розгону;

Максимальний момент, $\text{Н} \cdot \text{м}$ – найбільший крутний момент, який може розвинути двигун;

Частота живлення (f), Гц – стандартна частота електричної мережі (зазвичай 50 Гц);

ПВ (тривалість включення), % – режим навантаження за тривалістю включення (наприклад, 40%, 60%).

Ці параметри необхідні для коректного моделювання теплових режимів, перевірки пускових характеристик, підбору апаратури керування та забезпечення надійної експлуатації електродвигуна в умовах роботи мостового крана.

Основні технічні характеристики обраного електродвигуна можна згенерувати у вигляді таблиці. 3.3:

Приклад - Таблиця 3.3 – Технічні дані двигуна

Параметри	Одиниці виміру	Значення
Потужність	кВт	
Частота обертання	Об/хв	
Струм в статорі	А	
$\cos\varphi$		
η	%	
Струм ротора	А	
Напруга ротора	В	
Момент інерції	$\text{кг} \cdot \text{м}^2$	

Максимальний момент ($M_{\max}$)	$H \cdot m$	
Частота живлення	f	
ПВ	%	

3. Виконую перевірку обраного двигуна на відповідність за умовою допустимих навантажень:

$$M_{\text{доп}} \geq M_{\text{с.мах}}, \quad (21)$$

де $M_{\text{доп}}$ - допустимий момент можна знайти за наступною формулою:

$$M_{\text{доп}} = M_n \cdot \mu_{\text{мах}} \cdot k_u^2, \quad (22)$$

де M_n – номінальний момент електродвигуна; $\mu_{\text{мах}}$ – співвідношення максимального моменту до номінального з табл. 3.3; k_u – коефіцієнт зниження напруги.

Номінальний момент електродвигуна визначаємо за формулами:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}, \quad (23)$$

де ω_n – номінальна швидкість обертання, яке визначається за наступною формулою:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30}, \quad (24)$$

Максимальний момент знайдемо за наступною формулою:

$$M_{\text{с.мах}} = 9550 \cdot \frac{P_{\text{ст}}}{n_n}, \quad (25)$$

де $P_{\text{ст}}$ - статична потужність при підйомі вантажу, яку ми розраховуємо в попередньому розділі; n_n - частота обертання, див. табл. 3.3.

4. Перевіримо другу умову доступного навантаження:

$$M_{\text{срп}} \geq 1,5 \cdot M_{\text{с.мах}}, \quad (26)$$

де $M_{\text{срп}}$ – середній пусковий момент.

Середній пусковий момент, $M_{\text{срп}}$ можна знайти за наступною формулою:

$$M_{cpr} = \frac{M_1 + M_2}{2}, \quad (27)$$

де M_1 – пусковий момент на електроприводі, який визначається за:

$$M_1 = 0,85 \cdot M_{\max}, \quad (28)$$

та M_2 – пусковий момент двигуна:

$$M_2 = 1,5 \cdot M_n, \quad (29)$$

В результаті маємо, перевірку $M_{cpr} \geq 1,5 \cdot M_{c.\max}$.

5. Тепер перевіримо електродвигун за умовою виконання пуску:

$$a_{\partial\partial} \geq a, \quad (30)$$

де $a_{\partial\partial}$ – доступне лінійне прискорення при переміщенні вантажу. Знаходиться

наступним чином: $a_{\partial\partial} = (0,25 \dots 0,3) \frac{M}{c^2}$; a – найбільше лінійне прискорення яке

може отримати вантаж при підйомі або спуску, яке визначається за:

$$a = \frac{v_{n\partial}}{t_{n.\min}} = \frac{U_n}{t_{n.\min}}, \quad (31)$$

де $t_{n.\min}$ - мінімальний час при підйомі або при спуску вантажу зі стану спокою, до швидкості з $\max$. навантаженням.

Для механізму підйому цей час можна обчислити за формулою:

$$t_{n.\min} = \frac{GD_{EN}^2 \cdot n_n}{38,2 \cdot (M_{cpr} - Mc_{\max})}, \quad (32)$$

де GD_{EN}^2 - маховий момент електропривода, що обчислюється за формулою:

$$GD_{EN}^2 = 4 \cdot J_{EN}; \quad (33)$$

де J_{EN} - момент інерції електропривода знаходимо за формулою:

$$J_{EN} = 1,3 \cdot J_{\partial\partial} + \frac{182}{n_n^2} \cdot W_{кін.\max.}; \quad (36)$$

де $W_{кін.\max.}$ - кінематична енергія механізму підйому, що обчислюється за формулою:

$$W_{кін.\max.} = \frac{(m + m_0) \cdot v_n^2}{2}; \quad (37)$$

В результаті розрахунку моменту інерції електропривода, махового моменту системи та мінімального часу для підйому або спуску вантажу зі стану спокою, ми отримаємо найбільше лінійне прискорення, після чого виконаємо перевірку на відповідність допустимому значенню лінійного прискорення для забезпечення безпечної та стабільної роботи механізму.

6. Після завершення всіх розрахунків і перевірок доцільно виконати узагальнюючий висновок, у якому підсумувати результати проведеної роботи. У висновку слід зазначити, наскільки обраний електродвигун відповідає розрахунковим параметрам і вимогам до експлуатації в умовах роботи механізму підйому мостового крана. Це дозволить чітко сформулювати технічне обґрунтування вибору та підтвердити правильність прийнятих рішень на основі виконаного аналізу.

7. Наступним етапом після перевірки та обґрунтування вибору електродвигуна є вибір редуктора, який слугує для зниження частоти обертання та збільшення крутного моменту, необхідного для роботи механізму підйому. Правильний вибір редуктора забезпечує узгоджену роботу електропривода з виконавчим механізмом, підвищує ефективність передавання енергії та зменшує навантаження на окремі елементи конструкції. При виборі редуктора враховують передавальне число, тип конструкції, габаритні розміри, допустимі навантаження та режим роботи в умовах динамічного навантаження, характерного для кранів.

Вибір редуктора для системи мостового крана необхідний через значну різницю між частотою обертання вала електродвигуна та механізму підйомної лебідки. Редуктор слід обирати за передаточним числом та вихідною частотою обертання валу двигуна.

Передаточне число редуктора можна обчислити наступним методом:

$$i_p = \frac{\pi \cdot D \cdot n_n}{60 \cdot v_n \cdot i_n}, \quad (38)$$

де D – діаметр барабана лебідки згідно варіанту (табл. 1-2); n_n – номінальна частота обертання обраного електродвигуна з табл.3.3; v_n – швидкість підйому з формули (4); i_n – передаточне число поліпадної системи.

Передаточне число поліспавної системи - це величина, що показує, у скільки разів зменшується зусилля, яке потрібно прикласти для підйому вантажу, порівняно з його вагою, або у скільки разів зменшується швидкість переміщення вантажу порівняно з рухом каната чи троса.

Передаточне число поліспавної системи визначають як відношення загальної довжини каната, що витягується, до переміщення вантажу. Практично це відповідає кількості канатних гілок, що підтримують вантаж:

$$i = n, \quad (39)$$

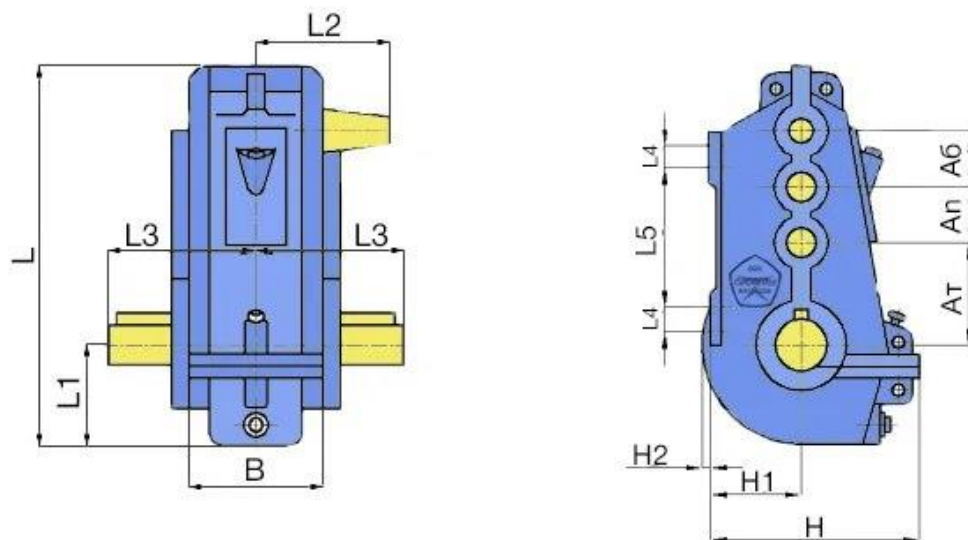
де i - передаточне число поліспасти, n - кількість канатних гілок, які підтримують вантаж.

Якщо вантаж підтримують, наприклад, 4 гілки каната, то передаточне число $i=4$. Це означає, що зусилля, необхідне для підйому вантажу, зменшується у 4 рази порівняно з вагою вантажу, але довжина каната, яку потрібно витягнути, збільшується у 4 рази.

Таким чином, визначення передаточного числа поліспасти є простим - це кількість канатних гілок, що підтримують вантаж, і цей параметр використовується для подальших розрахунків зусиль та потужності механізму підйому.

8. Використовуючи інтернет-джерела та спираючись на попередні розрахунки електродвигуна, можна попередньо обрати відповідний редуктор з урахуванням потрібного передаточного числа, типу конструкції та режиму роботи.

9. Після вибору редуктора необхідно оформити його схему або зображення, а також детально занести технічні характеристики, що дозволить провести подальший аналіз взаємодії всіх компонентів механізму та забезпечити коректну інтеграцію редуктора в загальну систему крана.



Приклад - Рис. 3.6. Креслення з габаритними параметрами для редуктора ВКУ-765-71-У2

Приклад - Таблиця 3.4. – Габаритні характеристики редуктора

Тип	Розмір, мм																			
	<i>c</i>	<i>б</i>	<i>т</i>	<i>l</i>		<i>l</i>	<i>2</i>		<i>l</i>	<i>2</i>			<i>l</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>				
Ц2-	650	250	400	260	560	470	280	695	315	95	36	1270	910	550	480	443	39	8	1100	
Технічні характеристики редуктора																				
Тип редуктора			Передаточне відношення					Частота обертання вхідного валу					Номінальний обертовий момент на виході валу, Н•м							
Ц2-650			31,5					от 600 до 1500					15000 ... 16000							

10. Наприкінці цього розділу також доцільно сформулювати узагальнюючий висновок, який підсумовує проведений аналіз і обґрунтовує технічні рішення.

3.5. Розділ. Розрахунок механічних характеристик електропривода механізму підйому мостового крана

Наступним етапом роботи є розрахунок механічних характеристик електропривода механізму підйому мостового крана. Цей розрахунок дозволить визначити основні параметри роботи двигуна під навантаженням, такі як крутний момент, швидкість обертання, прискорення та інерційні характеристики системи. Отримані дані будуть необхідні для подальшої перевірки відповідності електропривода технічним вимогам, забезпечення ефективної та безпечної роботи механізму підйому, а також для оптимального підбору та налаштування керуючого обладнання.

Необхідно врахувати умову, що оскільки електропривід механізму підйому виконано на основі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, то для зменшення його пускових струмів та керування ними вводять додаткові опори в ланцюг ротора.

Тепер розраховуємо величину елементів додаткового опору за умови, що пуск відбувається в 3 ступені.

1. Для визначення перевантажувальної здатності двигуна використовуємо наступну формулу:

$$\lambda = \frac{M_{\kappa}}{M_{\text{н}}}, \quad (41)$$

де M_{κ} та $M_{\text{н}}$ є критичним та номінальним моментом для обраного двигуна з табл.3.3 та формули (23).

2. Визначимо номінальні параметри ковзання двигуна:

$$S_{\text{н}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{н}}}{\omega_0}, \quad (42)$$

де ω_0 – частота обертання поля статора асинхронного двигуна. Визначається за наступною формулою:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}, \quad (43)$$

де p – число пар полюсів асинхронного двигуна, для обраного типу двигуна; f – частота мережі, $f = 50 \text{ Гц}$.

3. Визначимо значення для критичного ковзання двигуна:

$$S_{\kappa} = S_{\text{н}} \cdot \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right), \quad (44)$$

4. Виконаємо побудову природної пускової характеристики для обраного двигуна.

Для її побудови використовуємо спрощену формулу Клосса:

$$M = \frac{2 \cdot M_{\kappa}}{\frac{S_{\kappa}}{S} + \frac{S}{S_{\kappa}}}, \quad (45)$$

Для зручності розрахунку та побудови графіку спростимо формулу до безрозмірного формату запису:

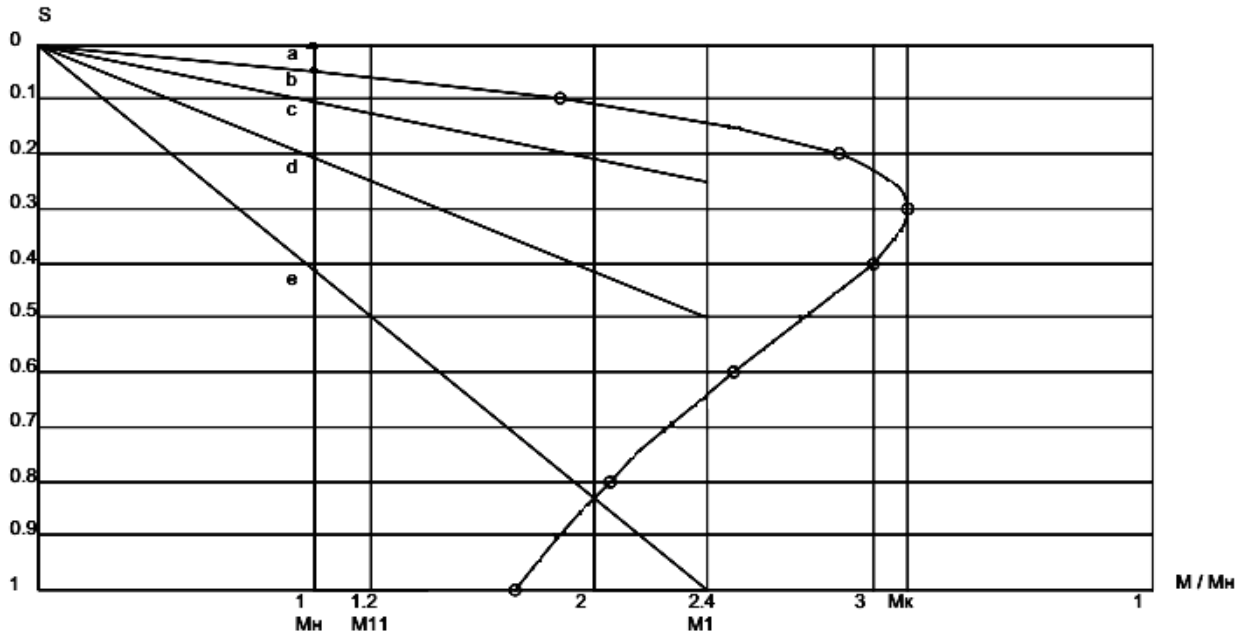
$$M = \frac{2 \cdot M_{\kappa}}{\frac{S_{\kappa}}{S} + \frac{S}{S_{\kappa}}} \quad \text{та} \quad M = \frac{2 \cdot \lambda}{\frac{S_{\kappa}}{S} + \frac{S}{S_{\kappa}}}, \quad (46)$$

Результати розрахунку, виконаного за формулою (46), доцільно систематизувати у вигляді таблиці (табл. 3.5) для зручності аналізу.

Приклад - Таблиця 3.5 - Результат розрахунків

S	1	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1	0,05	0,03
S/S_{κ}										
S_{κ}/S										
$M/M_{\text{н}}$										

На основі отриманих значень буде побудовано графік механічної характеристики електропривода (рис. 3.7), що наочно демонструє залежність



Приклад - Рис. 3.7. Природна пускова механічна характеристика двигуна

Для того щоб забезпечити плавний та безпечний пуск електродвигуна, у схемі передбачено використання триступеневого пускового реостата. Такий підхід дозволяє зменшити пускові струми та забезпечити поступове зростання моменту на валу двигуна. При цьому, у процесі запуску відбувається послідовне вимикання опору в роторному колі, що сприяє поступовому збільшенню частоти обертання.

Згідно з прийнятим алгоритмом, друге перемикання ступеня пускового реостата (тобто зменшення опору на другому етапі пуску) відбудеться при досягненні електродвигуном певного значення моменту. Це значення обирається з урахуванням характеристики навантаження механізму підйому та забезпечує, щоб момент, який розвиває двигун, був достатнім для подолання сили тяжіння вантажу, але при цьому не перевищував допустиме прискорення чи динамічні обмеження системи. Тобто, другий ступінь реостата вимикається тоді, коли електропривод вже набрав достатню частину швидкості, а момент досяг безпечного рівня для подальшого розгону.

5. Друге перемикання ступені пускового реостата відбудеться при наступному значенні моменту виходячи з формули:

$$M_n = 1,2 \cdot M_n, \quad (47)$$

Пускові значення для моменте M_I знайдемо по формулі:

$$M_I = \lambda' \cdot M_n, \quad (48)$$

де λ' – можна знайти за формулою:

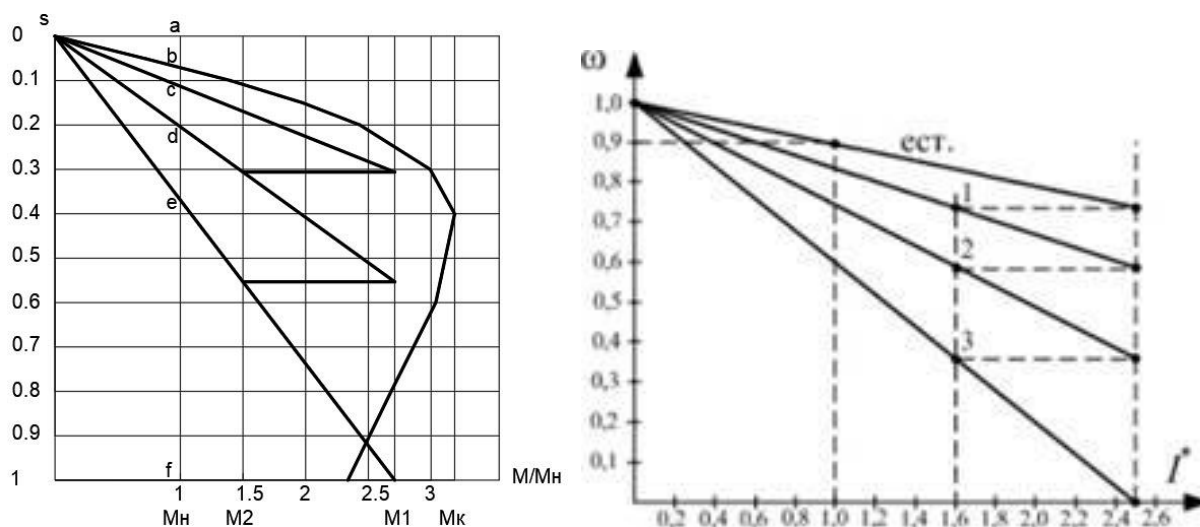
$$\lambda' = \sqrt[m+1]{\frac{1}{S_n \cdot \frac{M_n}{M_n}}}, \quad (49)$$

6. Побудову пускових реостатних механічних характеристик будемо виконувати вважаючи, що на робочих ділянках вони мають прямолінійний характер.

Першу пускову характеристику, що відповідає повністю ввімкненому в ланцюгу ротора пускового опору . Будуємо з'єднувальні точки з координатами:

$$\begin{pmatrix} S=0 & M=0 \\ S=1 & M=M_I \end{pmatrix}, \quad (50)$$

Величина пускових опорів визначаємо графічним шляхом.



Приклад - Рис. 3.8. Реостатні характеристики двигуна

Реостатні характеристики двигуна - це набір механічних характеристик асинхронного двигуна з фазним ротором, що побудовані при різних значеннях опору, підключеного до роторного кола через пусковий реостат.

7. Визначаємо номінальний опір ротора, усі необхідні величини беремо з табл. 3.3:

$$R_{2н} = \frac{E_{2н}}{\sqrt{3} \cdot I_{2н}}, \text{ Ом.} \quad (51)$$

8. Опір першої ступені:

$$R_{Ia} = R_{2н} \cdot \frac{de}{af}, \quad (52)$$

де de , af – довжини визначені за графіком (рис. 3.5);

9. Опір другої ступені:

$$R_{IIa} = R_{2н} \cdot \frac{cd}{af}, \quad (53)$$

10. Опір останньої третьої ступені:

$$R_{IIIa} = R_{2н} \cdot \frac{bc}{af}, \quad (54)$$

11. Визначаємо повний опір, використовуємо наступну формулу:

$$R_{\phi} = R_{2н} \cdot \frac{be}{af}, \quad (55)$$

12. Виконаємо перевірку:

$$R_{\phi} = R_{Ia} + R_{IIa} + R_{IIIa}, \quad (56)$$

13. Наприкінці цього розділу також доцільно сформулювати узагальнюючий висновок, який підсумовує проведений аналіз і обґрунтовує технічні рішення.

3.6. Розділ. Побудова природної та штучних характеристик електропривода механізму підйому

Наступним етапом розрахунку є побудова природної та штучних характеристик електропривода механізму підйому мостового крана. Ці

характеристики відображають залежність частоти обертання двигуна від моменту, який він розвиває, при різних умовах роботи. Природна характеристика відповідає роботі двигуна без додаткових опорів у роторному колі, тобто в номінальному режимі. Штучні характеристики будуються для режимів із підключеним додатковим опором у роторі (наприклад, при використанні пускового реостата) і дають змогу дослідити поведінку двигуна під час пуску та керування швидкістю. Побудова цих характеристик дозволяє оцінити динаміку розгону, стійкість роботи, а також забезпечити правильний вибір параметрів керування електроприводом у складі підйомного механізму.

1. Побудуємо механічні характеристики використовуючи за спрощеною формулою Клосса:

$$M = \frac{2 \cdot M_{\kappa}}{\frac{S_{\kappa}}{S} + \frac{S}{S_{\kappa}}}, \quad (57)$$

де M_{κ} – критичний момент на двигуні; S_{κ} – критичне ковзання двигуна; S – поточне ковзання двигуна.

2. При розрахунку приймаємо, що критичне значення моменту двигуна дорівнює максимальному допустимого значення обраного двигуна:

$$M_{\kappa} = M_{max}, \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (58)$$

3. В залежності від значення, яке набуває ковзання, змінюється значення величини поточної частоти:

$$S_{ni} = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}, \quad (59)$$

$$\omega_0 \cdot S_i = \omega_0 - \omega_i$$

$$\omega = \omega_0 - \omega \cdot S_i$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (\omega - S_i)$$

де S_{ni} – поточне природне ковзання; ω_i – поточна частота.

4. Визначаємо поточне значення штучного ковзання. Розраховуються за формулами:

$$S_{\omega} = S_n \cdot \frac{R_{2\Sigma}}{R_{2a}}, \quad (60)$$

де $R_{2\Sigma} = R_{2a} + R_{\partial}$ та $R_{2a} = R_{2n} \cdot S_n$.

Виконуємо сумування для першого ступеня $R_{2\Sigma I}$, для другого ступеня $R_{2\Sigma II}$, для третього ступеня $R_{2\Sigma III}$.

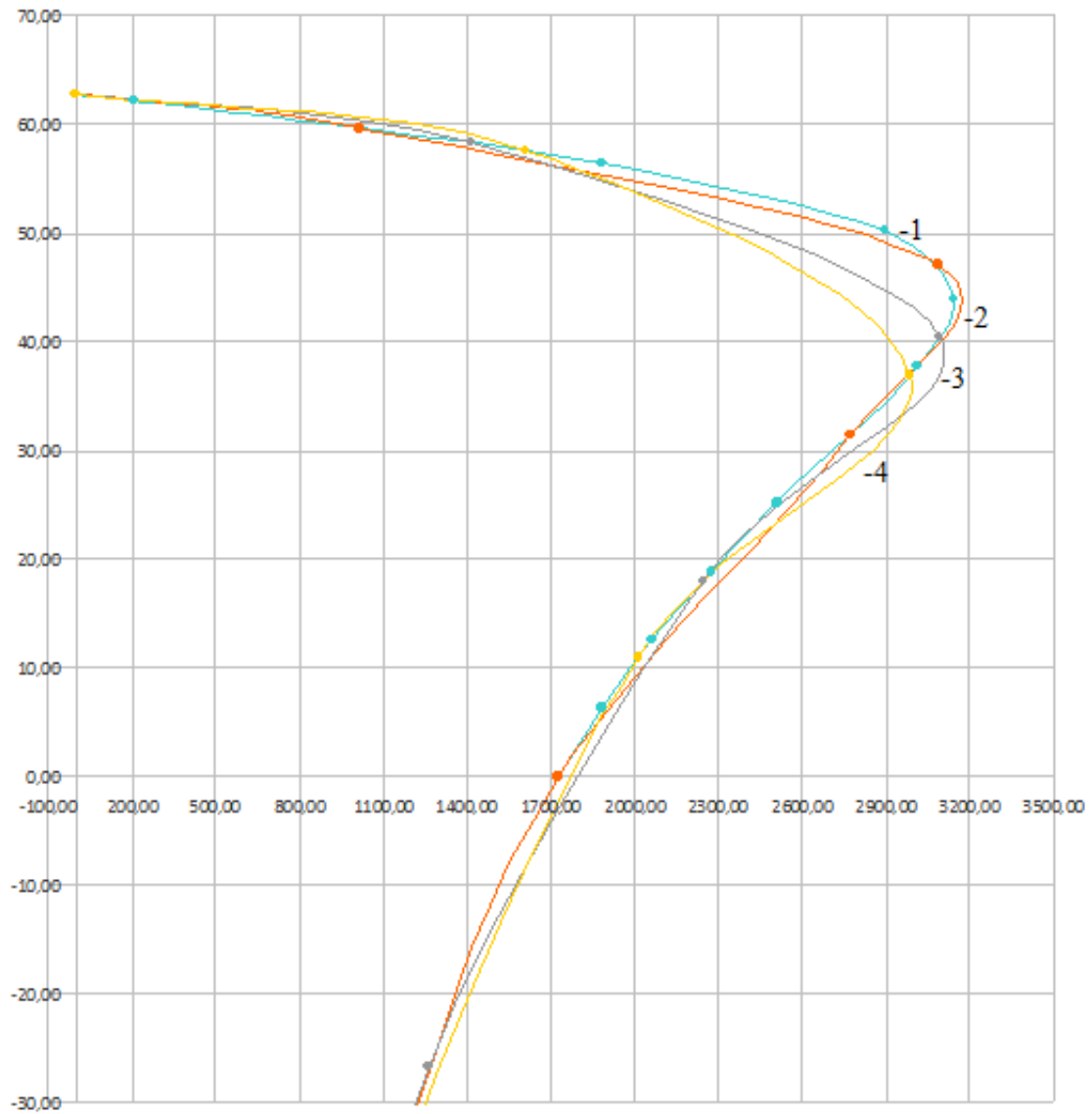
5. Результати зведено в таблицю 3.6.

Приклад - Таблиця 3.6. – Результати розрахунків

S	ω_n	M _п	S _{ш1}	$\omega_{\omega 1}$	M _{ш1}	S _{ш2}	$\omega_{\omega 2}$	M _{ш2}	S _{ш3}	$\omega_{\omega 3}$	M _{ш3}
0,00											
0,01											
0,05											
0,10											
0,20											
0,30											
0,40											
0,50											
0,60											
0,70											
0,80											
0,90											
1,00											

6. За даними таблиці 3.6 побудуємо природну та штучні характеристики електропривода механізму підйому (рис. 3.9).

ω



Приклад - Рис. 3.9. Природна та штучні характеристики електропривода механізму підйому: 1- природна характеристика; 2- характеристика при включенні першого ступеня, 3- характеристика при включенні другого ступеня, 4- характеристика при включенні третього ступеня

7. Наприкінці цього розділу також доцільно сформулювати узагальнюючий висновок, який підсумовує проведений аналіз і обґрунтовує технічні рішення.

3.7. Розділ. Вибір апаратів керування і захисту електропривода механізму підйому мостового крана

Для надійної та ефективної роботи електропривода механізму підйому мостового крану обов'язковим є правильний вибір апаратів керування і захисту, які відповідають умовам роботи, навантаженням і вимогам безпеки.

Насамперед, важливу роль відіграє магнітний контролер, що є складним комутаційним пристроєм для керування асинхронними двигунами з фазним ротором. Його застосування дає змогу реалізувати автоматичний пуск, реверсування, гальмування та багатоступеневе регулювання швидкості шляхом введення додаткових опорів у коло ротора. Завдяки цьому забезпечується плавний розгін і зупинка двигуна, обмежуються пускові струми, підвищується пусковий момент і виключається небезпека одночасного включення протилежних напрямків руху. Таким чином, контролер не лише виконує керуючу функцію, але й гарантує безпеку експлуатації крана при підйомі та спуску вантажів.

Другим елементом є контактори, які призначені для частих комутацій силових електричних кіл електродвигуна. У випадку кранових механізмів вони працюють у важких умовах: часті пуски та зупинки, значні пускові струми, вібрації й запиленість виробничих приміщень. Контактори забезпечують дистанційне керування двигуном, надійне замикання й розмикання кіл, а також довговічність при великій кількості робочих циклів. Саме тому їхній вибір повинен враховувати номінальний струм ротора, режим роботи та умови експлуатації.

Не менш важливою є захисна панель, яка об'єднує у собі основні апарати захисту та керування. Вона виконує функцію централізованого вузла безпеки, у складі якого можуть бути загальний рубильник, лінійні контактори, запобіжники, реле максимального струму та допоміжні елементи. Панель забезпечує нульовий захист, що виключає самовільний запуск двигуна після відновлення живлення, а також захист від коротких замикань та перевантажень. Завдяки компактному виконанню та інтеграції всіх необхідних апаратів у єдиний корпус значно спрощується обслуговування та підвищується надійність роботи кранового обладнання.

Окремо слід виділити реле захисту від перевантаження, яке контролює величину робочого струму і реагує на його перевищення. При виникненні аварійної

ситуації, такої як перевищення допустимої маси вантажу, заклинювання барабана або надмірні механічні опори руху, реле миттєво вимикає електродвигун, попереджаючи перегрів обмоток і пошкодження редуктора чи інших вузлів механізму. Крім того, реле захищає не тільки двигун, але й силові кабелі та інші елементи схеми від руйнівного впливу перевантажень.

Отже, вибір магнітного контролера, контакторів, захисної панелі та реле захисту від перевантаження є комплексним процесом, який забезпечує одночасно три ключові завдання: ефективне керування роботою електропривода, його електротехнічний і механічний захист, а також безпечні умови експлуатації мостового крану. Правильний підбір цих пристроїв дозволяє підвищити продуктивність кранових операцій, продовжити ресурс обладнання та знизити ризики аварійних ситуацій.

1. Вибір магнітного контролера.

Магнітний контролер є доволі компактним комутаційним пристроєм який використовують для керування електроприводом крану. Комутація головних ланцюгів відбувається за допомогою магнітних контролерів з електромагнітним приводом. Тип та параметри електроконтролера залежать від режиму та циклу роботи електропривода.

Для того щоб обраний магнітний контролер забезпечував необхідні умови треба щоб він виконував наступні умови:

$$I_{нк} \geq I_2 \cdot k, \quad (61)$$

де $I_{нк}$ – номінальний струм контролера; I_2 – номінальний струм в роторі, I_n з табл. 3.2; k – коефіцієнт, який враховує режим роботи електропривода.

1.1 Використовуючи інтернет-джерела та спираючись на попередні розрахунки електродвигуна, можна попередньо обрати відповідний магнітний контролер з урахуванням типу конструкції та режиму роботи.

1.2. Після вибору магнітного контролера необхідно оформити його схему або зображення, а також детально занести технічні характеристики.

2. Вибір контакторів.

Контактор - це електричний пристрій, який працює як "вимикач" для потужних електричних ланцюгів. Він дозволяє автоматично або дистанційно вмикати й вимикати струм в таких системах, наприклад як у електродвигуна. Також такі комутуючі пристрої здатні при певних умовах працювати як джерелами постійного, так і змінного струму.

Контактори є комутаційними апаратами тому використовуються для замикання та розмикання електричного кола, по якому тече струм значної потужності. Основне призначення контролера полягає у керування обладнанням. Різницею між всіма промисловими контакторами полягає у тому в якому середовище працює головний контактор та за родом робочого струму.

Найпоширенішими вважаються контактори серії КТ та КТП. Принцип їх роботи базується на стягуючій котушці постійного струму з номінальною напругою до 220В.

Розрахунок контакторів для обраного двигуна виконують за струмом ротора при наступній умові:

$$I_k \geq I_2, \quad (62)$$

2.1 Використовуючи інтернет-джерела та спираючись на попередні розрахунки електродвигуна, можна попередньо обрати відповідний магнітний контактор з урахуванням типу конструкції та режиму роботи.

2.2. Після вибору магнітного контактора необхідно оформити його схему або зображення, а також детально занести технічні характеристики.

3. Вибір захисної панелі.

Мостовий кран і його компоненти як будь яке електрообладнання потребують захисту від різних перенавантажень та непередбачених обставин. В основному захисні панелі складаються з елементами нульового захисту, запобіжних ланцюгів керуючої частини електрообладнання та живлення і мають різне устаткування залежно від призначення та умов роботи, також сюди входять кнопки пуску-паузи для електроприводу механізмів відповідаючих за підйом-спуск. Головною задачею панелі є максимальний контроль та захист електропровідників, що комутовані магнітними контролерами.

Керуюча панель в більшості випадків представляє собою механічну шафу на стінках якої встановленні електричні апарати.

Для вибору захисної панелі використовуємо максимальний номінальний струм тривалого режиму роботи електроприводу.

3.1. Після вибору захисної панелі необхідно оформити його схему або зображення, а також детально занести технічні характеристики.

4. Вибір реле захисту від перевантаження.

Захисне реле переважно обирають за перевантаження та забезпечення захисту ланцюгів мостового крану від надмірних навантажень.

Для того щоб підібрати реле необхідне для захисту обране обладнання для даного мостового крану треба враховувати режим роботи та струм спрацювання, який відповідає наступним умовам:

$$I_p \geq 2,5 \cdot I_l, \text{ А.} \quad (63)$$

4.1 Використовуючи інтернет-джерела та спираючись на попередні розрахунки електродвигуна, можна попередньо обрати відповідне реле захисту з урахуванням типу конструкції та режиму роботи.

4.2. Після вибору реле захисту необхідно оформити його схему або зображення, а також детально занести технічні характеристики.

5. Наприкінці цього розділу також доцільно сформулювати узагальнюючий висновок, який підсумовує проведений аналіз і обґрунтовує технічні рішення.

3.8. Проектування схеми керування мостовим краном

Проектування схеми керування мостовим краном є одним із ключових етапів виконання курсової роботи, оскільки від правильності побудови системи керування залежить безпечна та надійна експлуатація підйомного механізму. Основним завданням є розробка такої електричної схеми, яка забезпечить запуск і зупинку

електродвигуна, зміну напрямку руху вантажу (підйом/спуск), захист від перевантажень та аварійних ситуацій, а також виконання необхідних блокувань.

При проєктуванні враховуються такі принципові вимоги:

- **Безпека експлуатації** – схема повинна забезпечувати аварійну зупинку, наявність кінцевих вимикачів, нульовий захист та блокування, які унеможливають одночасне вмикання протилежних напрямків руху.
- **Надійність роботи** – використання апаратів керування та захисту з відповідними номінальними параметрами, що відповідають умовам роботи механізму підйому.
- **Енергоефективність** – оптимізація пускових режимів двигуна за рахунок ступеневого введення опорів у коло ротора або використання сучасних систем плавного пуску.
- **Зручність керування** – застосування кнопкових постів або пультів керування з можливістю дистанційного управління, що підвищує комфорт і безпеку роботи оператора.

Схема керування мостовим краном, як правило, включає:

- головний вимикач і запобіжники (для захисту від коротких замикань);
- контактори «Підйом» та «Спуск» із взаємним електричним та механічним блокуванням;
- магнітний контролер для ступеневого регулювання опорів у колі ротора;
- реле захисту від перевантаження, яке вимикає привід у випадку перевищення допустимого струму;
- електромагнітне гальмо, що розблоковується під час пуску двигуна;
- кнопковий пост керування з командами «Підйом», «Спуск», «Стоп»;
- кінцеві вимикачі верхнього та нижнього положення гака;
- аварійний вимикач для миттєвого знеструмлення схеми.

Проектowana схема керування повинна забезпечувати логічну послідовність операцій: при натисканні кнопки «Підйом» чи «Спуск» спочатку розблоковується гальмо, після чого вмикається відповідний контактор та необхідний ступінь опору

в роторному колі двигуна. При відпусканні кнопки або спрацюванні захистів привід миттєво зупиняється, а гальмо утримує вантаж у підвішеному стані.

Таким чином, проектування схеми керування мостовим краном забезпечує узгоджену роботу всіх елементів електропривода, створює необхідні умови безпечної експлуатації та формує базу для подальшого дослідження надійності і працездатності системи.

3.9. Розділ. Охорона праці при роботі на кранах

Наступним етапом виконання курсової роботи є розробка та дослідження питань охорони праці, що дозволяє оцінити умови безпечної експлуатації обладнання та визначити необхідні заходи для запобігання виробничим ризикам.

Розділ «Охорона праці» у курсовій роботі є обов'язковим і має кілька важливих функцій. Він потрібен не «для формальності», а для того, щоб показати, що майбутній інженер чи спеціаліст уміє оцінювати не тільки технічні параметри, а й безпеку виконання робіт.

Ось основні причини, для чого він необхідний:

1. Виконання державних стандартів і норм

Будь-який проєкт у галузі машинобудування, електротехніки, енергетики чи транспорту повинен враховувати вимоги Закону України «Про охорону праці», а також Правил улаштування та безпечної експлуатації вантажопідіймальних машин. У курсових і дипломних роботах цей розділ демонструє, що студент орієнтується у законодавчій і нормативній базі.

2. Формування інженерного мислення

Інженер повинен думати не тільки про ефективність і надійність техніки, а й про безпеку людей, які з нею працюють. Розділ охорони праці показує, що розробник враховує:

- ризик травми персоналу;
- вплив електричної енергії, механічних вузлів і вантажів;
- необхідність колективного та індивідуального захисту;

-правильну організацію робочого місця.

3. Навчальна цінність

Цей розділ допомагає студенту:

-закріпити знання правил безпеки;

-зрозуміти, які небезпечні та шкідливі фактори супроводжують роботу з обладнанням (електрострум, висота, вантажі, шум, вібрація тощо);

-навчитися пропонувати заходи захисту (заземлення, аварійні вимикачі, сигналізацію, інструктаж).

4. Практичне значення

У реальному виробництві невиконання вимог безпеки може призвести до:

-аварій, поломок техніки, простоїв;

-травм і навіть смертельних випадків;

-штрафів і кримінальної відповідальності.

Тому у проєктах завжди передбачаються заходи з охорони праці.

5. Комплексність проєкту

Будь-яка курсова або дипломна робота - це модель реального інженерного завдання. Розділ охорони праці робить її повною, бо показує, що розробка враховує всі аспекти: від технічних характеристик до безпечної експлуатації.

Отже, розділ «Охорона праці» в курсовій роботі необхідний для того, щоб підкреслити відповідальність майбутнього інженера за безпеку праці, знання нормативних документів, уміння оцінювати ризики й пропонувати заходи для їхнього усунення. Це підтверджує, що технічне рішення є не тільки працездатним, а й безпечним для людини та виробництва.

Розділ «Охорона праці» у курсовій роботі повинен мати чітку структуру та відображати як нормативні вимоги, так і практичні заходи безпеки. Зазвичай він включає такі підрозділи:

1. Загальні положення – обґрунтування необхідності охорони праці, законодавча та нормативна база (Закон України «Про охорону праці», ДБН, ПУЕ, правила експлуатації вантажопідіймальних механізмів).

2. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів – визначення основних ризиків при роботі з електроприводом мостового крана: дія електричного струму, падіння вантажу, шум, вібрації, пил, мікроклімат, висота.
3. Технічні заходи безпеки – опис технічних рішень, що забезпечують безпеку: заземлення, захисні панелі, реле перевантаження, кінцеві вимикачі, аварійний «Стоп», сигналізація, огороження небезпечних зон.
4. Організаційні заходи охорони праці – інструктаж персоналу, розробка правил безпечної експлуатації, контроль технічного стану обладнання, періодичні перевірки.
5. Засоби колективного та індивідуального захисту – використання касок, рукавичок, спецодягу, запобіжних поясів, вентиляції, освітлення робочої зони.
6. Висновки з охорони праці – підсумкове обґрунтування того, що впроваджені заходи забезпечують безпечну та надійну експлуатацію обладнання.

3.10. Висновки

Наступним етапом виконання курсової роботи є формування загального висновку, у якому підсумовуються результати проведених розрахунків та аналізу.

Загальний висновок до курсової роботи слід писати як підсумок усіх проведених розрахунків і досліджень. У ньому необхідно коротко нагадати мету роботи та відзначити, що всі поставлені завдання виконані. Далі узагальнюються отримані результати: наведені технічні параметри об'єкта, проведено розрахунки потужності електродвигуна на різних етапах робочого циклу, визначено тривалість кожного з них, побудовано навантажувальну діаграму. Обов'язково слід підкреслити практичну цінність роботи – наприклад, що отримані результати дозволили визначити оптимальний тип електропривода для підйомного механізму мостового крана, забезпечивши його ефективну та надійну експлуатацію. Також у висновку варто зазначити, що виконані обчислення підтверджують відповідність вибраного двигуна необхідним параметрам, а сама методика може бути використана для аналізу та проектування аналогічних систем. Таким чином,

загальний висновок має показати, що робота логічно завершена, поставлені завдання реалізовані, а результати мають як теоретичну, так і практичну значущість.

Щоб написати загальний висновок до курсової роботи, важливо дотримуватись певної структури та логіки.

Як правильно сформулювати висновок:

1. Коротко вкажіть мету курсової роботи – нагадайте, для чого виконувалося дослідження або розрахунок.

2. Систематизуйте результати – відобразіть основні етапи: що було проаналізовано, які параметри розраховано, які залежності чи діаграми побудовані.

3. Наголосіть на практичній цінності – поясніть, як отримані результати можна застосувати на практиці (наприклад, для вибору оптимального електродвигуна чи забезпечення ефективної роботи крана).

4. Зробіть висновки щодо поставлених завдань – покажіть, що всі завдання курсової виконано, а мета досягнута.

5. Можете додати рекомендації – наприклад, які рішення чи технічні параметри варто враховувати у майбутньому, або як можна вдосконалити систему.

Стиль написання:

- писати в офіційно-науковому стилі;
- уникати повтору формул і громіздких обчислень (вони вже наведені в основних розділах);
- використовувати узагальнюючі фрази: *«у результаті проведених розрахунків встановлено...», «було визначено, що...», «отримані дані підтверджують...».*

Тобто загальний висновок - це короткий підсумок усього дослідження, який показує, що робота логічно завершена, а всі її завдання вирішені.

3.11. Правила використання та оформлення літературних джерел

При написанні пояснювальної записки до курсової роботи важливо правильно використовувати та оформлювати літературні джерела, оскільки це

підтверджує наукову обґрунтованість дослідження та підвищує його якість.

Основні правила такі:

1. Добір джерел

- Використовувати актуальну та перевірену літературу (підручники, навчальні посібники, наукові статті, стандарти, довідники, нормативні документи).
- Бажано наводити джерела не старші 10 років (за винятком класичних робіт).
- Обов'язково використовувати першоджерела, а не лише вторинні перекази.

2. Посилання у тексті

- При використанні матеріалу з книги, статті чи іншого документа слід робити посилання у квадратних дужках, наприклад: [5] або [3, с. 27].
- Посилання проставляються у місці використання цитати, таблиці, рисунка чи фактичних даних.
- Недопустиме копіювання великих фрагментів тексту без власного аналізу.

3. Оформлення списку літератури

- Список використаних джерел подається в кінці пояснювальної записки.
- Джерела розташовуються у порядку цитування в тексті або за алфавітом.
- Оформлення здійснюється відповідно до ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання».

4. Приклади оформлення (за ДСТУ 8302:2015):

- Книга:

Пилипчук О. О., Назаренко І. В. *SCADA-системи в автоматизації промислових об'єктів*. Київ: Ліра-К, 2020. 256 с.

- Стаття:

Іваненко І. І. Енергоефективність електроприводів підйомних механізмів // *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2021. №3. С. 45–52.

- Онлайн-ресурс:

Мельник О. П. Сучасні тенденції розвитку кранів [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://example.com> (дата звернення: 16.08.2025).

5. Кількість джерел

- Для курсової роботи рекомендовано використовувати не менше 15–20 найменувань літератури, серед яких мають бути сучасні наукові статті та офіційні документи.

Таким чином, правильне використання та оформлення літературних джерел забезпечує наукову цінність курсової роботи, дозволяє уникнути плагіату та демонструє глибину опрацювання теми.

3.12. Креслення

Після виконання усіх зазначених розділів пояснювальної записки студент повинен підготувати креслення, яке є невід'ємною складовою курсової роботи. Креслення має відображати конструктивні особливості та принцип дії розрахованого механізму, відповідати вимогам стандартів ЄСКД та бути виконане з дотриманням правил оформлення. Воно слугує графічною ілюстрацією до проведених розрахунків і дозволяє наочно представити результати виконаної роботи.

Креслення (плакат) має виглядати структурованим і відповідати вимогам до захисту курсової роботи з технічних дисциплін. Повино бути поєднані як розрахункові результати (діаграми, графіки), так і технічні ілюстрації (двигун, редуктор, апаратура керування та захисту). Це дозволяє комплексно продемонструвати:

1. Теоретичну частину - розрахунок потужностей та побудову діаграм.
2. Практичну частину - вибір обладнання та його технічні характеристики.
3. Конструкторську складову - графічні креслення основних елементів системи.

Такий підхід робить плакат інформативним і зрозумілим для комісії, а також підтверджує, що студент не лише провів розрахунки, а й уміє застосувати їх для вибору реальних технічних засобів.

Вимоги до плакату для захисту:

1. Інформативність – плакат повинен відображати основні результати курсової: діаграми, графіки, схеми, креслення та висновки.
2. Структурованість – матеріали подаються логічно: спочатку вихідні дані, далі розрахунки, потім графіки та вибір обладнання.
3. Єдність стилю оформлення – використання однакових шрифтів, розмірів тексту та графічних елементів.
4. Чіткість і наочність – усі графіки, діаграми та схеми мають бути зрозумілими навіть на відстані (великий шрифт, контрастні кольори).
5. Мінімум тексту – основний акцент робиться на графіках, кресленнях та схемах, текст лише пояснює зображене.
6. Обов'язкові елементи плакату:
 - тема роботи;
 - ПІБ автора, назва кафедри та ВНЗ;
 - навантажувальні діаграми та розрахункові схеми;
 - вибраний двигун, редуктор та апаратура керування;
 - короткі висновки.
7. Візуальний баланс – матеріал розташовується рівномірно, без перевантаження однієї частини плакату.

Приклад плакату до захисту курсової роботи представлений в додатках.

4. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ

РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОСТОВОГО КРАНА ТА РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Технічні дані крану:

Вантажопідйомність головного гака, $m = 80$ т;

Швидкість підйому головного гака, $V_n = 5,8$ м/хв;

Висота підйому головного гака, $H = 9$ м;

Швидкість крану, $v_{кр} = 45$ м/хв;

Маса головного гака, $m_0 = 1,3$ т;

Діаметр барабана лебідки головного гака, $D = 800$ мм;

Довжина переміщення мосту, $L = 80$ м;

ККД механізму підйому під навантаженням, $\eta_{нагр} = 0,81$;

ККД механізму підйому при холостому ході, $\eta_{хх} = 0,41$;

ККД редуктора, $\eta_{редук} = 0,93$;

Час на зачеплення та відчеплення вантажу, $t_{02}, t_{04} = 185$ с;

Режим роботи крану $ПВ_{ном} = 40\%$.

1. Розрахуємо статичну потужність на валу електродвигуна підйомної лебідки при підйомі вантажу за формулою [1]:

$$P_{ст.грн} = \frac{(G + G_0) \cdot v_n \cdot 10^{-3}}{\eta_{нагр}}, \quad (2.1)$$

де G - вага вантажу, що піднімається та визначається за формулою [1]:

$$G = m \cdot g = 80 \cdot 10^3 \cdot 9,8 = 784 \cdot 10^3 \text{ Н};$$

G_0 - вага пустого захоплюючого пристрою, що також визначається за формулою:

$$G_0 = m \cdot g = 1,3 \cdot 10^3 \cdot 9,8 = 12740 \text{ Н};$$

$V_{під.}$ - швидкість підйому вантажу, що визначається за:

$$v_{під.} = v_n \cdot \frac{1}{60} = 5,8 \cdot \frac{1}{60} = 0,0725 \text{ м/с};$$

$\eta_{нагр}$ - ККД механізму підйому під навантаженням, що становить $\eta_{нагр} = 0,81$.

$$P_{ст.грн.} = \frac{(784 \cdot 10^3 + 12740) \cdot 0,0725 \cdot 10^{-3}}{0,81} = 71,31 \text{ кВт.}$$

2. Розраховуємо потужність електродвигуна при підйомі пустого гака, за формулою [3]:

$$P_{\text{стп.гр.}} = \frac{G_0 \cdot v_{\text{нід.}} \cdot 10^{-3}}{\eta_{\text{xx}}}, \quad (2.2)$$

де G_0 - вага пустого захоплюючого пристрою, $G = 12740 \text{ Н}$;

$v_{\text{нід.}}$ - швидкість підйому вантажу, $v_{\text{нід.}} = 0,0725 \text{ м/с}$;

η_{xx} - ККД механізму підйому при холостому ході, $\eta_{\text{xx}} = 0,41$.

$$P_{\text{стп.гр.}} = \frac{12740 \cdot 0,0725 \cdot 10^{-3}}{0,41} = 2,25 \text{ кВт.}$$

3. Розраховуємо потужність на валу електродвигуна, що обумовлена лише вагою електровантажу [4]:

$$P_{\text{гр.}} = (G + G_0) \cdot v_{\text{нід.}} \cdot 10^{-3}, \quad (2.3)$$

де G_0 - вага пустого захоплюючого пристрою, $G = 12740 \text{ Н}$;

G - вага вантажу, що піднімається, $G = 784 \cdot 10^3 \text{ Н}$.

$$P_{\text{гр.}} = (784 \cdot 10^3 + 12740) \cdot 0,0725 \cdot 10^{-3} = 55,92 \text{ кВт.}$$

4. Розраховуємо потужність на валу електродвигуна, що обумовлена силою тертя:

$$P_{\text{тр.}} = \frac{G + G_0}{\eta_{\text{нагр.}}} \cdot (1 - \eta_{\text{нагр.}}) \cdot v_{\text{нід.}} \cdot 10^{-3}, \quad (2.4)$$

$$P_{\text{тр.}} = \frac{784 + 12,74 \cdot 10^3}{0,81} \cdot (1 - 0,81) \cdot 0,0725 \cdot 10^{-3} = 14,75 \text{ кВт.}$$

Оскільки $P_{\text{гр.}} \geq P_{\text{тр.}}$ то двигун працює в режимі гальмівного спуску.

5. Розраховуємо потужність на валу електродвигуна при гальмівному спуску вантажу:

$$P_{\text{снус.}} = (G + G_0) \cdot v_{\text{нід.}} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta_{\text{нав.}}}\right) \cdot 10^{-3}, \quad (2.5)$$

$$P_{\text{снус.}} = (784000 + 12740) \cdot 0,0725 \cdot \left(2 - \frac{1}{0,81}\right) \cdot 10^{-3} = 44,21 \text{ кВт.}$$

6. Розраховуємо потужність на валу електродвигуна при спуску порожнього гаку [5]:

$$P_{сп.гак.} = G_0 \cdot v_{нід.} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{xx}} - 2 \right) \cdot 10^{-3}, \quad (2.6)$$

$$P_{сп.гак.} = 12740 \cdot 0,0725 \cdot \left(\frac{1}{0,41} - 2 \right) \cdot 10^{-3} = 0,41 \text{ кВт.}$$

7. Визначаємо окремий час кожного циклу роботи механізму підйому за відповідними формулами:

Для переміщення по вертикалі:

$$t_{pn} = \frac{H}{v_{нід.}}, \quad (2.7)$$

де H - висота підйому головного гака, $H = 9\text{м}$;

$v_{нід.}$ - швидкість підйому вантажу, $v_{нід.} = 0,0725 \text{ м/с}$.

Для переміщення по горизонталі:

$$t_{pn} = \frac{L}{v_{кр.}}; \quad (2.8)$$

де L - довжина переміщення мосту, $L=80 \text{ м}$;

$v_{кр.}$ - швидкість крану, $v_{кр.} = 45 \cdot \frac{1}{80} = 0,56 \text{ м/с}$.

а) час підйому вантажу на висоту, H :

$$t_{p1} = \frac{9}{0,0725} = 124,14 \text{ с};$$

б) час переміщення вантажу на довжину, L :

$$t_{01} = \frac{80}{0,56} = 142,86 \text{ с};$$

в) час для спуску вантажу:

$$t_{p2} = \frac{9}{0,0725} = 124,14 \text{ с};$$

г) час необхідний для відтягнення гака: $t_{04} = t_{02} = 185 \text{ с}$;

д) час підйому порожнього гака:

$$t_{p3} = \frac{9}{0,0725} = 124,14 \text{ с};$$

е) час на переміщення візка крану у початкове положення:

$$t_{03} = \frac{80}{0,56} = 142,86 \text{ с};$$

ж) час спуску порожнього гака:

$$t_{p4} = \frac{9}{0,0725} = 124,14 \text{ с}.$$

За визначеними даними окремого часу кожного циклу механізму, складемо таблицю його робочого циклу(таб.1) та навантажувальну діаграму механізму підйому мостового крану (рис.1).

Таблиця 1.

Параметри Ділянка	1	2	3		5	6	7	
P , кВт.	7 1,31	0	4 4,21		2 ,25	0	0 ,41	
t , с.	1 24,14	1 42,86	1 24,14	85	1 24,14	1 42,86	1 24,14	85

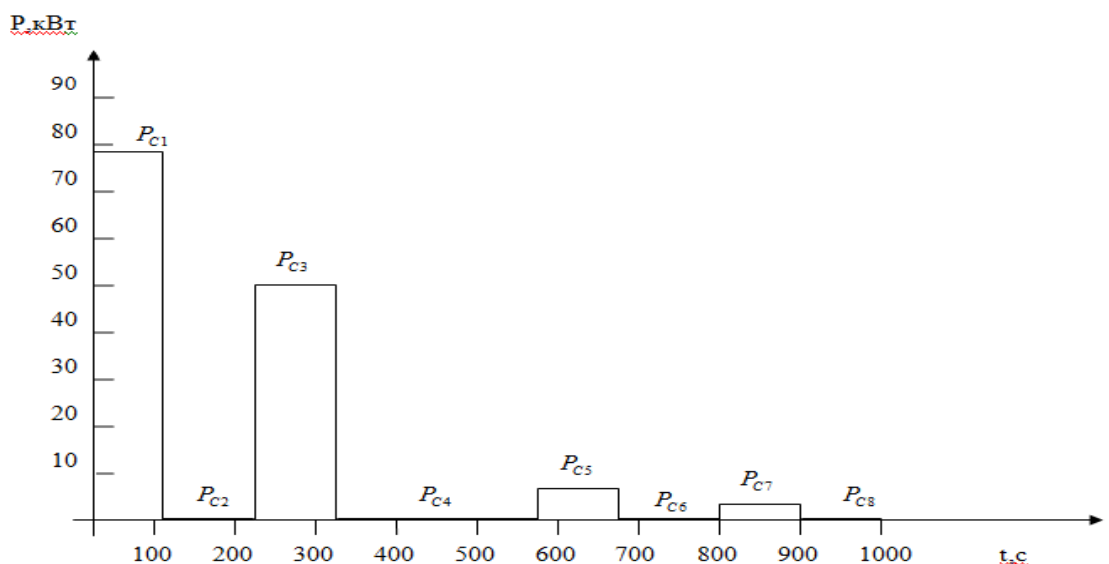


Рис. 3. Навантажувальна діаграма механізму підйому мостового крану

8. За навантаженою діаграмою визначаємо дійсну тривалість роботи електропривода механізму підйому. Для цього визначаємо сумарний час роботи електродвигуна та сумарний час пауз електродвигуна [6]:

$$\Sigma t_p = t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p4}; \quad (2.9)$$

де t_{p1} - час підйому вантажу на висоту;

t_{p2} - час для спуску вантажу;

t_{p3} - час підйому порожнього гака;

t_{p4} - час спуску порожнього гака.

$$\Sigma t_o = t_{o1} + t_{o2} + t_{o3} + t_{o4}, \quad (2.10)$$

де t_{o1} - час переміщення вантажу на довжину;

t_{o2} - час необхідний для відтягнення гака;

t_{o3} - час на переміщення візка крану у початкове положення;

t_{o4} - час необхідний для відтягнення гака.

Так як $t_{p1} = t_{p2} = t_{p3} = t_{p4}$, тоді сумарний час роботи електродвигуна визначається:

$$\Sigma t_p = 124,14 \cdot 4 = 496,56 \text{ с.}$$

Час пауз електродвигуна:

$$\Sigma t_o = 142,86 + 185 + 142,86 + 185 = 655,72 \text{ с.}$$

Обчислюємо дійсну тривалість роботи електродвигуна:

$$ПВ_{д} = \frac{\Sigma t_p}{\Sigma(t_p + t_o)} \cdot 100\% = \frac{496,56}{496,56 + 655,72} \cdot 100\% = 44,6\%. \quad (2.11)$$

9. Розраховуємо еквівалентну потужність за сумарний час роботи електродвигуна:

$$P_{екв} = \sqrt{\frac{P_{c1}^2 \cdot t_{p1} + P_{c2}^2 \cdot t_{p2} + P_{c3}^2 \cdot t_{p3} + P_{c4}^2 \cdot t_{p4}}{\Sigma t_p}}, \quad (2.12)$$

де P_{c1} - статична потужність на валу електродвигуна підйомної лебідки при підйомі вантажу $P_{ст.грн.} = 71,31 \text{ кВт}$;

P_{c2} - потужність на валу електродвигуна при гальмівному спуску вантажу

$$P_{cнyc.} = 44,21 \text{ кВт};$$

P_{c3} - потужність двигуна при підйомі пустого гака $P_{cтн.зр.} = 2,25 \text{ кВт};$

P_{c4} - потужність на валу електродвигуна при спуску порожнього гака

$$P_{cп.зак.} = 0,41 \text{ кВт.}$$

$$P_{екв} = \sqrt{\frac{71,31^2 \cdot 124,14 + 44,21^2 \cdot 124,14 + 2,25^2 \cdot 124,14 + 0,41^2 \cdot 124,14}{496,56}} = 41,97 \text{ кВт.}$$

10. Еквівалентну потужність перерахуємо на стандартну, відповідно до тривалості режиму роботи кранового механізму:

$$P_{ек} = P_{екв} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{Д}}{ПВ_{H}}}, \quad (2.13)$$

де $ПВ$ - тривалість роботи електродвигуна.

$$P_{ек} = 41,97 \cdot \sqrt{\frac{44,6}{40}} = 44,31 \text{ кВт.}$$

11. Визначаємо розрахункову потужність електродвигуна за формулою:

$$P_{двиг} = \frac{P_{ек} \cdot K_3}{\eta_p}; \quad (2.14)$$

де $P_{ек}$ - стандартна потужність двигуна, $P_{ек} = 44,31 \text{ кВт.}$

K_3 - коефіцієнт запасу, для електропривода підйому приймаємо $K_3 = 1,2;$

$\eta_{редук}$ - ККД редуктора $\eta_p = 0,93.$

$$P_{двиг} = \frac{44,31 \cdot 1,2}{0,93} = 57,17 \text{ кВт.}$$

12. Визначаємо кутову швидкість обертання лебідки механізму мостового крану:

$$\omega_{л} = \frac{2 \cdot v_n}{D}, \quad (2.15)$$

де $v_{нід.}$ - швидкість підйому вантажу, $v_{нід.} = 0,0725 \text{ м/с};$

D - діаметр барабана лебідки головного гака, $D = 800 \text{ мм.}$

$$\omega_{\text{л}} = \frac{2 \cdot 0,0725}{0,8} = 0,18 \text{ рад/с.}$$

13. Визначаємо кількість оборотів лебідки за хвилину:

$$\eta_{\text{л}} = \frac{30 \cdot \omega_{\text{л}}}{\pi}, \quad (2.16)$$

де $\omega_{\text{л}}$ - кутова швидкість обертання лебідки, $\omega_{\text{л}} = 0,18 \text{ рад/с.}$

$$\eta_{\text{л}} = \frac{30 \cdot 0,18}{3,14} = 1,72 \text{ об/хв.}$$

14. Вибираємо двигун за розрахунковою потужністю електродвигуна з каталогу двигунів МТН.

З каталогу вибираємо крановий електродвигун типу МТН 612-10 [7], характеристики якого приведені в таб.2.

Таблиця 2. - Основні характеристики двигуна МТН 612-10 [7]

Двигун	P , кВт	N , об/хв	Коеф потужнос.	Струм статора	Струм ротора	КПД, %	$M_{\text{max}}/$ $M_{\text{н}}$	m , кг
МТН 612-10	60,0	570	0,78	147	154	85,0	3,2	774,0
Габарити l30xh31xd30, мм		Діаметр вала d_1 , мм	Довжина вала, мм	Висота вала h , мм	Кріплення по лапам, мм			
					110	b10		
1170x775x605		90	170	315	445	520		

Висновок:.....

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ДВИГУНА МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ МОСТОВОГО КРАНУ

3.1. Перевірка обраного електродвигуна механізму підйому крану

1. Двигун оберемо за наступними умовами [4]:

$$P_{ном} \geq P_{дв} ;$$

$$P_{ном} \geq 59,5 ;$$

Оберемо асинхронний двигун з фазним ротором МТН 612-10, та занесемо технічні дані до таблиці 3.

Таблиця 3 - Технічні дані двигуна

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Потужність	кВт	60
Частота обертання	Об/хв	570
Струм статора	А	147
$\cos \varphi$		0,78
η	%	85
Струм ротора	А	154
Напруга ротора	В	248
Момент інерції	кг · м ²	5,25
Момент max.	Н · м	3140
Частота живлення	f	50
ПВ	%	40

2. Перевіримо обраний двигун за умовами допустимого навантаження.

Перевіримо першу умову допустимого навантаження при:

$$M_{дон} \geq M_{сmax} ;$$

де допустимий момент $M_{дон} = M_{м} = 1630 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$

$$M_{сmax} = 9550 \cdot \frac{P_{см}}{n_n} ; \quad (3.1)$$

де $P_{ст.}$ - статична потужність при підйомі вантажу, яку ми розраховуємо в попередньому розділі.

n_n - номінальна частота обертання обраного електродвигуна.

$$Mc_{max} = 9550 \cdot \frac{79,65}{570} = 1334,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Умова виконується.

Перевіримо другу умову доступного навантаження:

$$M_{cpi} \geq 1,5 \cdot M_{cmax};$$

де M_{cpi} - середній пусковий момент, що обчислюється за формулою:

$$M_{cpi} = \frac{M_1 + M_2}{2}; \quad (3.2)$$

де M_1 - моментт електропривода при пуску, $M_1 = 0,85 \cdot M_m = 0,85 \cdot 3140 = 2669 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

M_2 - мінімальний момент двигуна при пуску, $M_2 = 1,5 \cdot M_n = 1,5 \cdot 1005 = 1507,99 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

$$M_{cpi} = \frac{2669 + 1507,9}{2} = 2088,45 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$1,5 \cdot Mc_{max} = 1,5 \cdot 1334,5 = 2001,75 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Отже, $M_{cpi} = 2088,45 \geq 2001,75 = 1,5 \cdot Mc_{max}$, в цьому випадку друга умова виконується.

Перевіримо електродвигун за умовою виконання пуску, де умова виконання пуску в цьому випадку рівна:

$$a_{\partial\partial} \geq a;$$

де $a_{\partial\partial}$ - доступне лінійне прискорення при підйомі або переміщені вантажу, яке становить: $a_{\partial\partial} = (0,25 \dots 0,3) \text{ м/с}$;

a - найбільше лінійне прискорення при спуску або підйомі вантажу, що визначається за:

$$a = \frac{v_e}{t_{n \min}} = \frac{U_n}{t_{n \min}}; \quad (3.3)$$

де $t_{n \min}$ - мінімальний час при підйомі або при спуску вантажу зі стану спокою, до швидкості з *мах.* навантаженням.

Для механізму підйому цей час можна обчислити за формулою:

$$t_{n \min} = \frac{GD_{EN}^2 \cdot n_n}{38,2 \cdot (M_{cpr} - Mc_{мах})}; \quad (3.4)$$

де GD_{EN}^2 - маховий момент електропривода, що обчислюється за формулою:

$$GD_{EN}^2 = 4 \cdot J_{EN}; \quad (3.5)$$

де J_{EN} - момент інерції електропривода знаходимо за формулою:

$$J_{EN} = 1,3 \cdot J_{об} + \frac{182}{n_n^2} \cdot W_{кін.мах.}; \quad (3.6)$$

де $W_{кін.мах.}$ - кінематична енергія механізму підйому, що обчислюється за формулою:

$$W_{кін.мах.} = \frac{(m + m_0) \cdot v_n^2}{2}; \quad (3.7)$$

$$W_{кін.мах.} = \frac{(90 \cdot 10^3 + 1300) \cdot 0,073^2}{2} = 241,2 \text{ Дж.}$$

Момент інерції електропривода:

$$J_{EN} = 1,3 \cdot 5,25 + \frac{182}{570^2} \cdot 241,9 = 6,96 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Маховий момент електропривода:

$$GD_{EN}^2 = 4 \cdot 6,96 = 27,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Мінімальний час при підйомі або при спуску вантажу зі стану спокою:

$$t_{n \min} = \frac{27,8 \cdot 570}{38,2 \cdot (2088,45 - 1334,5)} = 0,55 \text{ с.}$$

Найбільше лінійне прискорення при спуску або підйомі вантажу:

$$a = \frac{0,073}{0,55} = 0,133 \text{ м/с}^2.$$

Допустиме лінійне прискорення:

$$a_{\partial\partial} = 0,25 \geq 0,133 \text{ м/с}^2.$$

3.2. Вибір редуктора

Вибір редуктора в електроприводі механізму підйому необхідно застосовувати через велику розузгодженість частоти обертання барабана лебідки механізму та валу електродвигуна.

1. Редуктор оберемо за передаточним числом та частотою обертання вхідного валу двигуна.

Передаточне число редуктора обчислюємо за формулою [5]:

$$i_p = \frac{\pi \cdot D \cdot n_n}{60 \cdot v_n \cdot i_n}; \quad (3.8)$$

де D – діаметр барабану лебідки;

n_n - номінальна частота обертання електродвигуна;

v_n - швидкість підйому;

i_n - передаточне число поліпадної системи, $i_n = 12$.

$$i_p = \frac{3,14 \cdot 0,9 \cdot 570}{60 \cdot 0,073 \cdot 12} = 30,65.$$

Обираємо редуктор Ц2-650-31,5.

Редуктор Ц2-650 двоступеневий спеціальний крановий, застосовується в механізмах вантажопідіймальних машин і також використовується для зміни обертових моментів і частоти обертання валу в якості комплектуючого в приводах інших машин, устаткування і механізми. Рекомендується його застосування в діапазоні передавальних чисел від 8 до 50.

Редуктори Ц2-250, Ц2-300, Ц2-350, Ц2-400, Ц2-500, Ц2-650, Ц2-750 і Ц2-1000 виготовляються з твердими шліфованими зубчастими парами евольвентного зачеплення. Таке виконання редукторів забезпечує підвищену навантажувальну здатність і зниження шумових характеристик приводу.

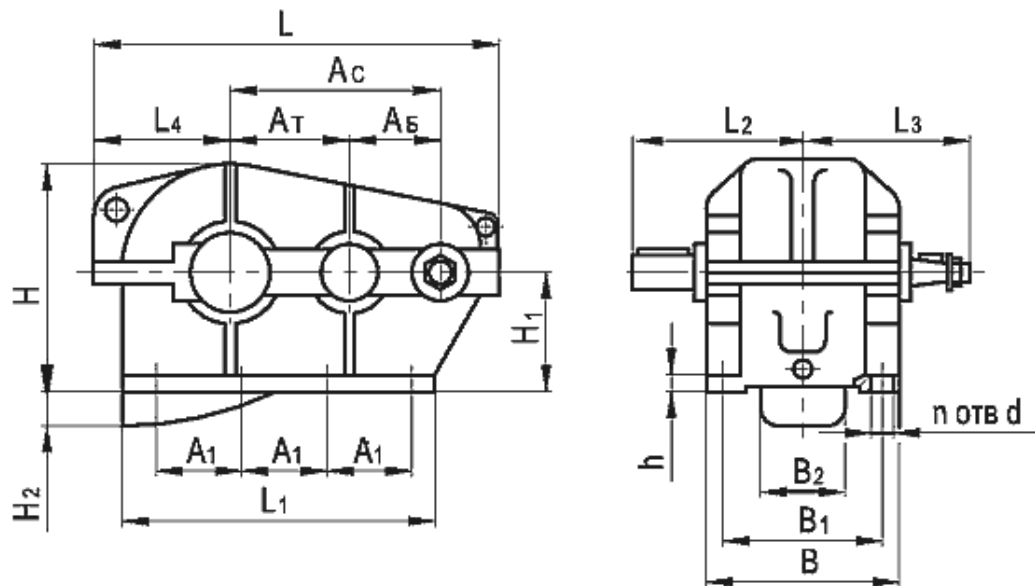


Рис. 4. Редуктор циліндричний горизонтальний двоступінчастий крановий [6]

Таблиця 4. - Габаритні характеристики редуктора [5]

Тип	Розмір, мм																		
	c	б	т	l		l	2		l	2			l	2	3	4			
Ц2-	650	250	400	260	560	470	280	695	315	95	36	1270	910	550	480	443	39	8	1100
Технічні характеристики редуктора																			
Тип редуктора	Передаточне відношення					Частота обертання вхідного валу					Номінальний обертовий момент на виході валу, Н•м								
Ц2-650	31,5					от 600 до 1500					15000 ... 16000								

Висновок:

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ МОСТОВОГО КРАНА

Оскільки в електроприводі механізм підйому використовується асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, то для керування його пуском з метою зменшення пускових струмів та збільшення пускового моменту ланцюга ротора, необхідно ввімкнути додатковий опір.

Розрахуємо величину елементів додаткового опору за умови, що пуск відбувається в 3 ступені.

1. Визначаємо номінальний момент двигуна:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}; \quad (4.1)$$

де ω_n - номінальна швидкість обертання, яка визначається за формулою:

$$\omega_n = \frac{2\pi \cdot n_n}{60} = \frac{\pi \cdot n_n}{30}; \quad (4.2)$$

Звідси отримаємо:

$$\omega_n = \frac{3,14 \cdot 570}{30} = 59,66 \text{ 1/с};$$

$$M_n = \frac{60 \cdot 10^3}{59,66} = 1005,69 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

2. Перевантажувальну здатність двигуна визначаємо за:

$$\lambda = \frac{M_\kappa}{M_n}; \quad (4.3)$$

де M_κ та M_n номінальний та критичний момент двигуна.

$$\lambda = \frac{3140}{1005,69} = 3,12$$

3. Знайдемо номінальне ковзання двигуна:

$$S_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0}; \quad (4.4)$$

де ω_0 - частота обертання поля статора асинхронного двигуна, яку можна знайти за формулою:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}; \quad (4.5)$$

де p - число пар полюсів двигуна, в нашому випадку $p = 5$;
 f -частота мережі, $f = 50$ Гц.

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{5} = 62,8 \text{ 1/с};$$

$$S_n = \frac{62,8 - 59,66}{62,8} = 0,05$$

4. Визначаємо критичне ковзання двигуна:

$$S_k = S_n \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}); \quad (4.6)$$

де S_n - номінальне ковзання двигуна;

λ - перевантажувальна здатність двигуна.

$$S_k = 0,05 \cdot (3,12 + \sqrt{3,12^2 - 1}) = 0,3037$$

5. Побудуємо природну пускову механічну характеристику нашого двигуна.

Для її побудови використовуємо спрощену формулу Клосса:

$$M = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{S_k}{S} + \frac{S}{S_k}} \quad (4.7)$$

Для зручності використовуємо безрозмірну форму запису:

$$M = \frac{2 \cdot \lambda \cdot M_k}{\frac{S_k}{S} + \frac{S}{S_k}} \text{ та } M = \frac{2 \cdot \lambda}{\frac{S_k}{S} + \frac{S}{S_k}}; \quad (4.8)$$

Результати розрахунків зведемо в таблицю (табл. 5), та за даними побудуємо механічну характеристику (рис. 5).

Таблиця 5 - Результати розрахунків

S	1	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05
S/S _k	3,33	2,67	2	1,3	1	0,67	0,33	0,167
S _k /S	0,3	0,375	0,5	0,75	1	1,5	3	6
M/M _n	1,73	2,045	2,496	3,044	3,12	2,87	1,874	1,011

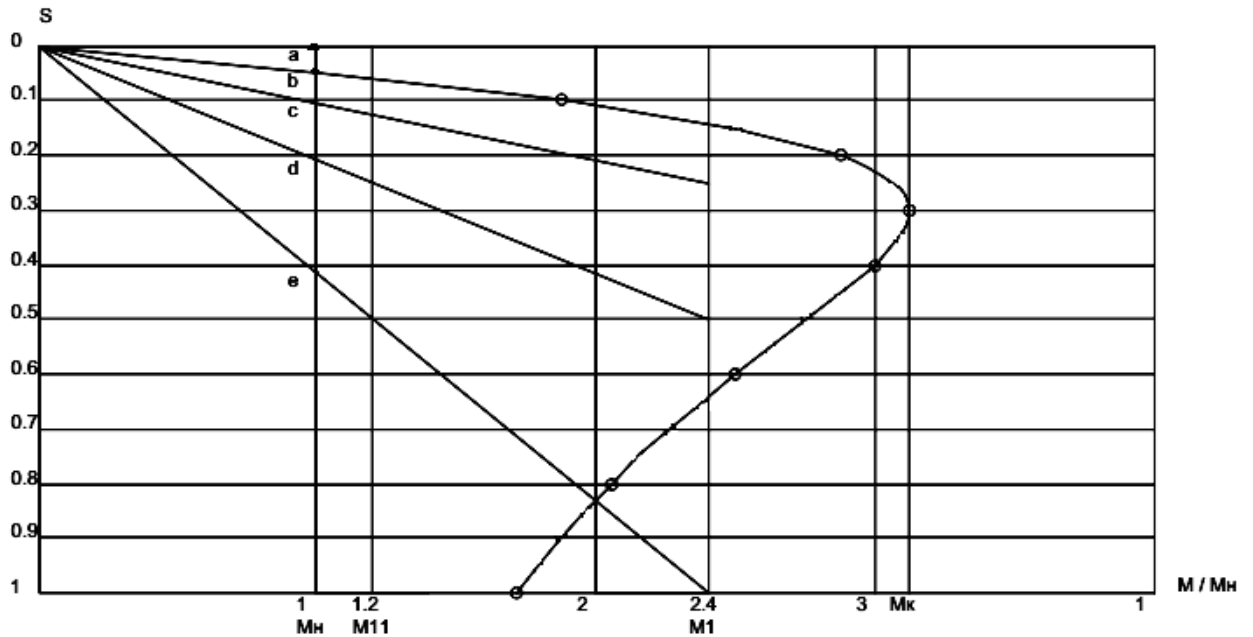


Рис. 5 Природна пускова механічна характеристика двигуна

6. Для пуску асинхронного двигуна оберемо три ступені додаткового опору при чому будемо вважати, що друге перемикання ступеней пускового реостату відбудеться при значенні моменту:

$$M_n = 1,2 \cdot M_n = 1,2 \text{ в.о.} ; \quad (4.9)$$

7. Пускові значення моменту M_I знайдемо за формулою:

$$M_I = \lambda' \cdot M_n ; \quad (4.10)$$

де λ' - знаходимо за формулою:

$$\lambda = \sqrt[m+1]{\frac{1}{s_n \cdot \frac{M_n}{M_n}}} ; \quad (4.11)$$

$$\lambda = \sqrt[m+1]{\frac{1}{0,05 \cdot 1,2}} = 2$$

$$M_I = 2 \cdot 1,2' \cdot M_n = 2,4 \text{ в.о.}$$

Побудову пускових реостатних механічних характеристик будемо виконувати вважаючи, що на робочих ділянках вони мають прямолінійний характер.

Першу пускову характеристику, що відповідає повністю ввімкненому в ланцюгу ротора пускового опору . Будуємо з'єднувальні точки з координатами:

$$\begin{pmatrix} S = 0; & M = 0 \\ S = 1; & M = M_I \end{pmatrix}.$$

Величини пускових опорів визначаємо графічним шляхом.

8. Номінальний опір ротора:

$$R_{2н} = \frac{E_{2н}}{\sqrt{3} \cdot I_{2н}}; \quad (4.12)$$

$$R_{2н} = \frac{248}{\sqrt{3} \cdot 154} = 0,93 \text{ Ом.}$$

9. Опір першого ступеню:

$$R_{Ia} = R_{2н} \cdot \frac{de}{af}; \quad (4.13)$$

де de, af довжини, що визначаємо за допомогою графіка (рис. 5);

$$R_{Ia} = 0,93 \cdot \frac{28}{140} = 0,186 \text{ Ом.}$$

10. Друга ступень номінального опору ротора:

$$R_{IIa} = R_{2н} \cdot \frac{cd}{af}; \quad (4.14)$$

$$R_{IIa} = 0,93 \cdot \frac{15}{140} = 0,099 \text{ Ом.}$$

11. Третя ступень опору:

$$R_{IIIa} = R_{2н} \cdot \frac{bc}{af}; \quad (4.15)$$

$$R_{IIIa} = 0,93 \cdot \frac{8}{140} = 0,053 \text{ Ом.}$$

12. Повний опір визначаємо за формулою:

$$R_{\phi} = R_{2н} \cdot \frac{be}{af}; \quad (4.16)$$

$$R_{\phi} = 0,93 \cdot \frac{52}{140} = 0,34 \text{ Ом.}$$

Перевірка:

$$R_a = R_{Ia} + R_{IIa} + R_{IIIa} = 0,186 + 0,099 + 0,053 = 0,34 \text{ Ом.}$$

Висновок:.....

РОЗДІЛ 5. ПОБУДОВА ПРИРОДНОЇ ТА ШТУЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНІЗМУ ПІЙОМУ

1. Побудову механічних характеристик виконаємо за спрощеною формулою Клосса [7]:

$$M = \frac{2 \cdot M_{кр}}{\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{2}}; \quad (5.1)$$

де $M_{кр}$ - критичний момент двигуна;

$S_{кр}$ - критичне ковзання двигуна;

S - поточне ковзання двигуна.

При розрахунку будемо вважати, що критичний момент дорівнює максимально допустимому за паспортними даними моменту двигуна:

$$M_{кр} = M_{\max} = 3140 \text{ Н·м;}$$

2. В залежності від ковзання змінюється величина поточної частоти:

$$S_{ni} = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}; \quad (5.2)$$

$$\omega_0 \cdot S_i = \omega_0 - \omega_i,$$

$$\omega = \omega_0 - \omega_0 \cdot S_i,$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - S_i)$$

де S_{ni} - поточне природне ковзання;

ω_i - поточна частота.

3. Значення поточного штучного ковзання розраховуються за формулами:

$$S_{ш} = S_n \cdot \frac{R_{2\Sigma}}{R_{2a}}; \quad (5.3)$$

де $R_{2\Sigma} = R_{2a} + R_{\partial}$, та $R_{2a} = R_{2n} \cdot S_n$;

$$R_{2a} = 0,93 \cdot 0,05 = 0,0465 \text{ Ом.}$$

Для першого ступеня $R_{2\Sigma}$:

$$R_{2z} = 0,046 + 0,186 = 0,2325 \text{ Ом;}$$

Для другого ступеня $R_{2\Sigma}$:

$$R_{2z} = 0,046 + 0,186 + 0,2325 = 0,3315 \text{ Ом;}$$

Для третього ступеня $R_{2\Sigma}$:

$$R_{2z} = 0,046 + 0,186 + 0,2325 + 0,053 = 0,3845 \text{ Ом;}$$

Результати розрахунків зведемо в таблицю 6.

Таблиця 6. - Результати розрахунків

S	ω_n	M_n	$S_{ш1}$	$\omega_{ш1}$	$M_{ш1}$	$S_{ш2}$	$\omega_{ш2}$	$M_{ш2}$	$S_{ш3}$	$\omega_{ш3}$	$M_{ш3}$
0,00	62,80	0,00	0,00	62,80	0,00	0,00	62,80	0,00	0,00	62,80	0,00
0,01	62,17	209,10	0,05	59,66	1018,38	0,07	58,32	1412,58	0,08	57,6	1608,7
0,05	59,66	1018,38	0,25	47,10	3088,52	0,36	40,41	3093,90	0,41	36,8	2985,1
0,10	56,52	1884,00	0,50	31,40	2770,59	0,71	18,03	2245,14	0,83	10,8	2013,4
0,20	50,24	2898,46	1,00	0,00	1728,44	1,43	-26,74	1265,34	1,65	-41,06	1102,9
0,30	43,96	3140,00	1,50	-31,40	1207,69	2,14	-71,51	863,91	2,48	-92,9	748,5
0,40	37,68	3014,40	2,00	-62,80	921,27	2,85	-116,2	653,45	3,31	-144,9	564,9
0,50	31,40	2770,59	2,50	-94,20	742,90	3,56	-161,1	524,83	4,13	-196,8	453,3
0,60	25,12	2512,00	3,00	-125,60	621,78	4,28	-205,8	438,30	4,96	-248,7	378,3
0,70	18,84	2273,79	3,50	-157,00	534,36	4,99	-250,5	376,17	5,79	-300,7	324,6
0,80	12,56	2064,66	4,00	-188,40	468,37	5,70	-295,3	329,43	6,62	-352,6	284,2
0,90	6,28	1884,00	4,50	-219,80	416,81	6,42	-340,1	292,99	7,44	-404,5	252,7
1,00	0,00	1728,44	5,00	-251,20	375,45	7,13	-384,9	263,80	8,27	-456,4	227,5

За даними таблиці 6 побудуємо природну та штучні характеристики електропривода механізму підйому (рис.6).

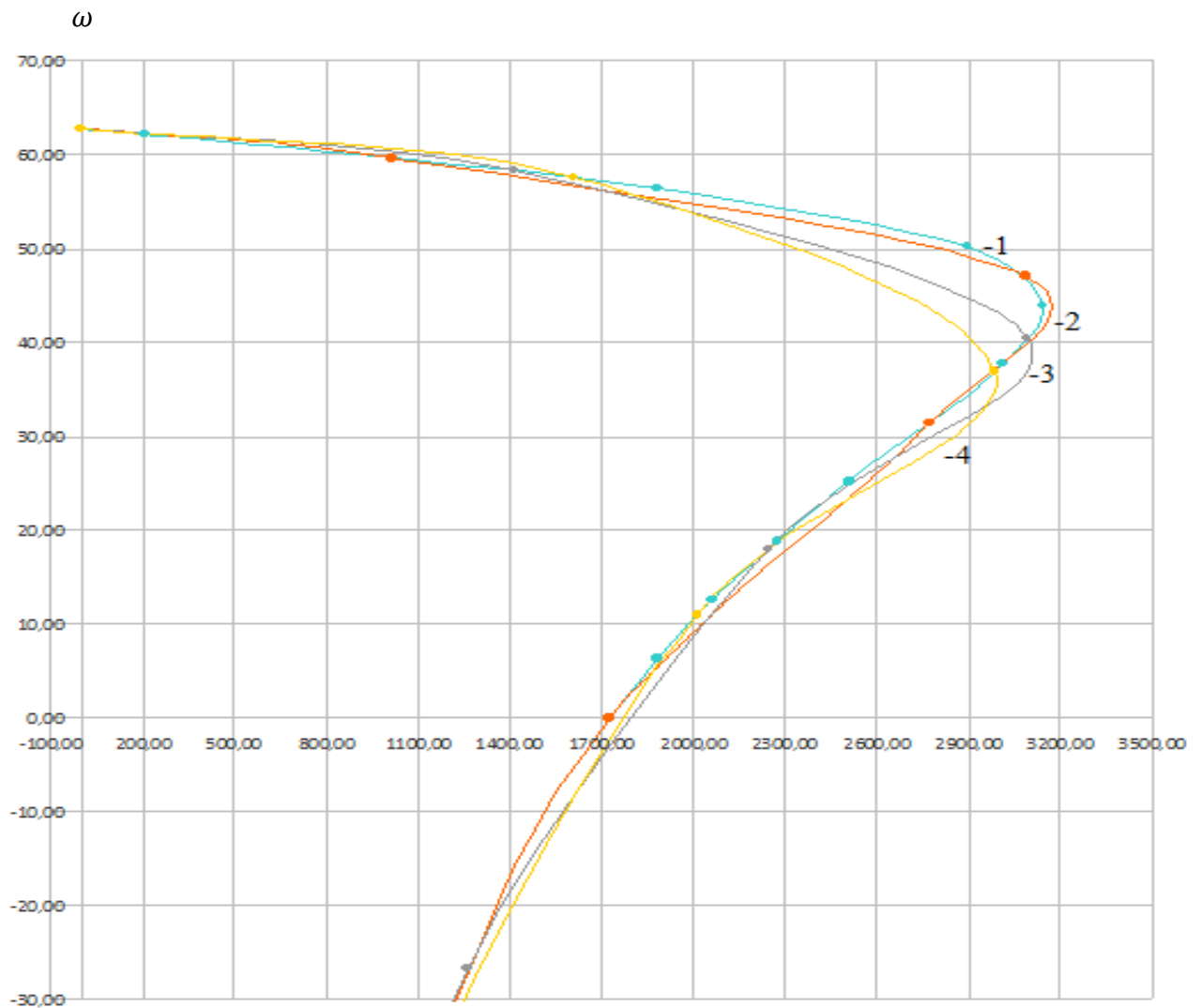


Рис.6. Природна та штучні характеристики електропривода механізму підйому: 1- природна характеристика; 2- характеристика при включенні першого ступеня, 3- характеристика при включенні другого ступеня, 4- характеристика при включенні третього ступеня.

Висновок:

РОЗДІЛ 6. ВИБІР АПАРАТІВ КЕРУВАННЯ І ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ МОСТОВОГО КРАНА

6.1. Вибір магнітного контролера

Магнітні контролери являють собою складні компактні комутаційні пристрої для керування електроприводами кранів. В магнітних контролерах комутація

головних ланцюгів відбувається за допомогою магнітних контакторів з електромагнітним приводом. Вибір контролерів здійснюється в залежності від режимів роботи електропривода. Для електроприводного механізму підйому вибір контролера здійснюється за номінальним струмом, який повинен відповідати умові [8]:

$$I_{нк} \geq I_2 \cdot k, \quad (6.1)$$

де $I_{нк}$ - номінальний струм контролера;

I_2 - номінальний струм ротора;

k - коефіцієнт , що враховує режим роботи електропривода. Для ПВ=40% цей коефіцієнт становить, $k = 0,8$.

Для двигуна МТН 612-10 [9]:

$$I_2 = 154 \text{ A};$$

$$I_{нк} \geq 154 \cdot 0,8 = 123,2 \text{ A}.$$

Обираємо контролер ТСА3-160.

Структура умовного позначення ТСА3-160 :

Т - керування трифазним крановим движком змінного струму з фазним ротором механізму руху;

С - для управління двигуном механізму піднімання;

А - з автоматичним розгоном;

З - з максимальним струмовим захистом;

160 - номінальний струм контакторів, встановлених в ланцюгах статора двигуна, 160А.

Кранові панелі серії ТСА3-160 (ІРАК.656231.006-02) призначені для автоматичного пуску (в функції часу), реверсування, гальмування, а також кінцевої захисту електроприводу механізмів підйому, регулювання швидкості в діапазоні до 5: 1. Дані панелі керування мають власний струмовий захист силових і оперативних і нульовий захист. На положеннях командо-контроллера підйому регулювання швидкості двигуна здійснюється за рахунок зміни опору пускових резисторів, що включені в ланцюг ротора.

Спуск вантажу може здійснюватися в двох режимах: противмиканням - на 1-м і 2-м положеннях командо-контроллера, і силового спуску - на 3-му положенні. Для запобігання підйому легких вантажів на першому і другому положеннях командо-контроллера схемою передбачено включення ногоного вимикача, так як тільки при натиснутій педалі можлива робота на цих положеннях спуску.

Оперативна і силова частина панелей ТСАЗ-160 призначені для роботи в мережі змінного струму 380В, 50Гц.

Дана панель в типовому виконанні монтується на металевому каркасі з перфорованого швелера. На панелі ТСАЗ-160 застосовуються контактори серії КТ-6000 в ланцюзі статора і ротора, пускачі 2-ї величини, рубильники ВР-3235, реле максимального струму РЕО-401, або аналоги, реле часу серії РЕВ. За заявкою замовника можливе застосування інших комплектуючих.

Для виключення одночасного спрацьовування контакторів застосовуються механічні блокування.

Таблиця 7. - Технічні характеристики

Тип	Позначення	Кількість і потужність двигунів при ПВ=40% кВт	Струм статора при ПВ=40% А	Струм ротора при ПВ=40% А	Габарити, мм / Маса, кг
ТСАЗ-160	ИРАК.656.231.0 06-02	1х (45...80)	200	200	800х1700 х315 / 150

6.2. Вибір контакторів

Контактор - апарат, призначений для частих комутацій електричних ланцюгів при нормальних (номінальних) режимах роботи. Залежно від роду комутованого струму розрізняють контактори постійного і змінного струму. При певних умовах одні і ті ж контактори можуть комутувати навантаження як постійного, так і змінного струму.

Контактори відносяться до комутаційних апаратів і використовуються для замикання або розмикання електричних кіл, якими проходить великий струм, за допомогою електросхем з набагато-нижчим рівнем потужності ніж силові кола. Основним призначенням контакторів є керування (вмикання та вимикання) обладнанням.

Промислові контактори розрізняють залежно від середовища, у якому знаходяться головні контакти - повітряні, газові, вакуумні тощо. За родом струму головного кола їх поділяють на контактори постійного та змінного струму.

Найчастіше в кранових електроприводах використовується контактори типу : КТ або КТП. Вони використовуються з стягуючими котушками постійного струму номінальною напругою: 24; 48; 110 або 220В.

Розрахунок та вибір контакторів здійснюються за струмом ротора при цьому :

$$I_k \geq I_2; \quad (6.2)$$

Серія контакторів КТП розраховано на 4 номінальні струми: 100; 160; 250; 400А.

Обираємо контактор:

КТП – 6014, $I_k = 160$ А.

Структура умовного позначення КТП – 6014:

КТ - контактор змінного струму з керуванням змінного струму;

6 - умовний номер серії;

0 - з універсальним приєднанням проводів на рейці;

1 - номінальний струм замикаючих контактів 160 А;

4 - число замикаючих контактів (полюсів).

6.3. Вибір захисної панелі

Захисна панель є комплектним пристроєм в якому розташовані загальний вимикач живлення електрообладнання крану, лінійний колектор для забезпечення нульового захисту, запобіжні ланцюги керування електроприводами та іншим устаткуванням і також кнопка пуску електроприводу механізму підйому.

Основним призначенням панелі є забезпечення максимального захисту електропроводів, що керуються за допомогою магнітних контролерів.

Конструктивно захисна панель являє собою металічну шафу зі встановленими на її стінці електричними апаратами . Вибір захисної панелі здійснюється за максимальним номінальним струмом тривалого режиму роботи електроприводу. В даному випадку за струмом статора I_1 :

$$I_1 = 147 \text{ А.}$$

Виходячи з цього обираємо захисну панель ПЗКБ-160У2.

Панелі захисні кранові типу ПЗКБ-160У2, ПЗКБ-250У2, ПЗКБ-400У2 призначені для максимально-струмового та нульового захисту кранових електродвигунів змінного струму з фазним ротором.

Кранова захисна панель ПЗКБ-160У2 містить загальний рубильник живлення крана, лінійний контактор КТ-6023, комплект максимальних реле РЕО-401, а також кнопку для включення і ключ-бірку для блокування ланцюгів управління. Захисні панелі ПЗКБ-160У2 комплектуються електромагнітними реле максимального струму в конструктивному виконанні, що дозволяє реалізувати різні за кількістю двигунів і схемами включення котушок реле варіанти захисту. З цією метою на захисній панелі встановлюються підставки, що дозволяють закріпити від двох до чотирьох змінних максимальних реле РЕО-401, якорі яких впливають на загальну скобу, що розмикає встановлений на панелі загальний для цих реле допоміжний контакт, який відключає ланцюг котушки контактора захисної панелі.

Конструкція забезпечує установку до восьми електромагнітів реле і можливість з'єднання їх котушок за різними схемами.

6.4. Вибір реле захисту від перевантаження

Вибір реле захисту від перевантаження та забезпечення захисту ланцюгів кранового електрообладнання від перевантаження здійснюються за допомогою реле миттєвої дії типу: РЭО-401. Ці реле входять до складу захисних панелей. Для захисту електродвигуна від перевантаження достатньо мати реле в одній фазі двигуна. В інші фази електродвигуна реле ставиться для дублювання захисту контактних проводів.

Реле для електроприводу механізму підйому обирається відповідно режиму роботи електроприводу та струму спрацювання, який повинен задовольняти умови [9]:

$$I_p \geq 2,5 \cdot I_1; \quad (6.3)$$

$$2,5 \cdot I_1 = 2,5 \cdot 147 = 367,5 A.$$

Виходячи з цього обираємо реле РЭО401-375.

Реле максимального струму РЭО-401 призначене для захисту від перевантажень і струмів короткого замикання електродвигунів постійного струму і асинхронних електродвигунів з фазним ротором змінного струму при частоті мережі 50Гц. Багатополюсне реле РЕО-401 (що складається з декількох електромагнітних систем реле і одного блок-контакту, зібраних на загальній скобі), призначене для комплексного захисту електродвигунів.

Умови експлуатації РЕО-401:

- Висота над рівнем моря до 4300 м.
- Діапазон робочих температур від -50 до + 55 ° С.
- Навколишнє середовище вибухобезпечне, не містить пилу в кількості, що порушує роботу реле, а також агресивних газів і пари в концентраціях, що руйнують метали і ізоляцію.
- Вібрація місць кріплення реле в діапазоні частот від 1 до 25Гц при прискоренні не більше 0.7g.

- Кріплення реле на вертикальній площині з допустимим відхиленням не більше 50 в будь-яку сторону.

Таблиця 8. - Технічні характеристики РЗО-401

Номінальний струм втягуючої котушки, А		Межі регулювання струма спрацювання, А	Діаметр шпильки виводу, мм
ПВ-100%	ПВ-40%		
320	480	420...1280	M12
250	375	325...1000	M12
160	240	210...640	M10
100	150	130...400	M8
63	95	82...252	M8
40	60	52...160	M6
25	38	33...100	M6
16	24	21...64	M6
10	15	13...40	M6
6	9	8...24	M6

Висновки:

РОЗДІЛ 7. ОХОРОНКА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З ВАНТАЖОПІДІЙМАЛЬНИМИ МАШИНАМИ

7.1. Вимоги безпеки перед початком роботи.

1. Перед початком роботи особа, яка користується вантажопідіймальною машиною, повинна [10]:

— правильно надіти встановлений нормами і в справному стані спецодяг, спецвзуття, а при необхідності — засоби індивідуального захисту, отримати інструктаж про правила, порядок, місця складування і габаритах вантажів, які підлягають переміщенню;

- провести зовнішній огляд механізмів вантажопідіймальної машини, вантажозахоплювальних пристроїв, переконатися в їх справності і наявності на них клейм або бірок з позначенням номера, дати випробування і вантажопідіймальності;

- перевірити справність тари та наявність на ній номера, написів про її призначення, власної та граничної маси вантажу, для транспортування якого вона призначена;

- підібрати вантажозахоплювальні пристрої, відповідні масі і характеру вантажу, що піднімається;

- перевірити наявність і справність освітлювальних приладів в зоні дії вантажопідіймальної машини. При недостатньому освітленні слід повідомити про це особу, відповідальну за безпечне проведення робіт.

2. Перед початком роботи необхідно оглянути вантажопідіймальну машину, перевірити:

- справність її основних деталей і складальних одиниць;
- наявність і надійність кріплення захисного заземлення (троса) до корпусу кнопочового управління;

- відсутність заїдання кнопок управління в гніздах;
- стан сталевих канатів і правильність його намотування на барабані;
- стан гака, його кріплення в обоймі та наявність останнього у пристрої на ньому (зношення в зіві вантажозахоплювального пристосування не повинен бути більше 10%), відсутність тріщин, наявність шпінтування гайки і легкості повертання гака в гаковій підвісці.

3. Огляд вантажопідіймальної машини допускається здійснювати тільки при вимкненому рубильнику. Під час огляду на рубильник необхідно навісити плакат: «Не вмикати! Працюють люди!» [10].

4. При огляді вантажопідіймальної машини при необхідності можна користуватися переносною лампою напругою до 42 В.

5. Після огляду вантажопідіймальної машини, перед пуском її в роботу, необхідно випробувати вхолосту всі механізми і перевірити справність:

гальм, механізмів та електричної апаратури;

приладів і пристроїв безпеки, які на вантажопідіймальній машині.

6. Справність дії обмежувача вантажопідіймальності машин перевіряється за допомогою контрольного вантажу в строки, встановлені адміністрацією підприємства, у присутності інженерно-технічного працівника з нагляду за вантажопідіймальними машинами.

Результати перевірки повинні бути занесені у вахтовий журнал.

7. Особа, яка користується вантажопідіймальною машиною, не повинна ставати до роботи на машині за наявності таких несправностей:

- тріщини або деформації в металоконструкції крана;
- кількість обривів дротів або поверхневий знос вантажного каната перевищує встановлену норму, обірвані пасмо або місцеві пошкодження;
- дефекти механізму підйому вантажу;
- пошкодження деталей гальма механізму підйому вантажу;
- знос гака в зіві перевищує 10% первісної висоти перерізу;
- несправний пристрій, що замикає зів гака;
- порушено кріплення гака в обоймі;
- гайка, що кріпить гак, не має пристрою, що запобігає її самовідгвинчуванню;
- блок крана не обертається навколо своєї осі, вісь не закріплена запірними планками або іншими запірними пристроями;
- несправний або відсутній обмежувач висоти підйому гака, обмежувач вантажопідіймальності і т.д.;
- відсутня огорожа механізмів або неізовльованих струмоведучих частин електрообладнання;
- відсутнє або пошкоджене заземлення;
- у з'єднувальних муфт відсутні шпильки або гайки на шпильках, відсутні або зношені пружні кільця;
- редуктори гальма, гальмівні шківи, електродвигун або інше обладнання машини не укріплені і зміщуються при роботі механізмів;

- ізоляція електропроводки пошкоджена, заземлювальна проводка обірвана;
- гнучкі тролєї сильно провисають.

8. При виявленні будь-якої несправності вантажопідіймальної машини (електрообладнання) або вантажозахоплювального пристосування, а також після закінчення терміну чергового випробування, необхідно негайно повідомити особі, відповідальній за безпечне проведення робіт, і без його вказівок до роботи не приступати.

ВИСНОВКИ

Підчас виконання курсової роботи був виконаний розрахунок електропривода механізму підйому мостового крана. У результаті розрахунків, згідно вихідних даних, було обрано такі складові електроприводу:

1. Електродвигун МТН 612-10.
2. Редуктор Ц-250-25.
3. Магнітний контролер ТСА3-160 У3.
4. Контактори КТП – 6014.
5. Захисна панель ПЗКБ-160У2.
6. Реле захисту від перевантаження РЗО401-375.

Було виконано розрахунок статичних навантажень двигуна механізму підйому мостового крану, а також розрахунок і побудову механічних характеристик електропривода механізму підйому мостового крана.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пристрій та застосування стрічкового конвеєра. URL: <https://d-nk.com.ua/stati-5/ustrojstvo-i-primenenie-lentochnogo-konvejera/> (дата звернення: 07.03.2024).

2. Конвеєри: види, класифікація та сфера застосування. URL: <https://ssk.ua/ua/blog/konvejery-vidy-klassifikaciya-i-sfera-primeneniya-482> (дата звернення: 23.03.2025).

3. Ковшові елеватори. Призначення. URL: <https://studfile.net/preview/7793147/page:3/> (дата звернення: 01.03.2024).

4. Пневмотранспортери зернових від компанії МХМ Україна. URL: <https://www.mhm-ukraine.com/produktsiya/tekhnika-dlya-perevalki-zernovykh/mobilnye-pnevmoconvejery> (дата звернення: 02.04.2025).

5. Механіка електроприводу. URL: http://ni.biz.ua/13/13_3/13_3675_povedenie-firmi-na-rinke-monopolisticheskoy-konkurentsii-znachenie-netsenovoy-konkurentsii.html (дата звернення: 30.03.2025).

6. Мироненко О. А. Системи чпк для фрезерного верстату. Миколаїв, 2019. 84 с.

7. Каменєв С. Електропривод стрічкового конвеєру гірничо-збагачувального комбінату. Дніпро, 2018. 70 с.

СПИСОК ВИКРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Основна

1. Теряєв В. І. Автоматизований електропривод. Ч. 2 : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 204 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/73e51e44-c55f-4e5f-b00a-a0ad60d200a8/content>11. Leonhard W. Control of Electrical Drives. Springer, 2014. 460 р.
2. Видмиш А. А., Ярошенко Л. В. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1 : навч. посібник. Вінниця : ВНАУ, 2020. 387 с. URL: <https://repository.vsau.org/getfile.php/25015.pdf>
3. Красношاپка Н. Д. Автоматизований електропривод. Розділ 1. Теорія електропривода : навчальний посібник / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Н. Д. Красношاپка. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 101 с. <https://ela.kpi.ua/items/0d4ea828-349e-4aa0-9050-ca2b21c29ff9>
4. Методологія наукових досліджень : навч. посіб. / В. І. Ладика, Л. З. Шильман, . Ф. В. Пивоваров П. П. Перцевой та ін. ; за заг. ред. В. І. Ладика. Херсон : Олді-плюс, 2022. 222 с.
5. Основи промислового електроприводу лабораторний практикум : навчальний посібник / уклад. В. П. Лукавенко, А. І. Зілінський. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 72 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/e68021fb-f64c-450a-bea6-421644246fcb/content>
6. Осташевський М. О., Юр'єва О. Ю. Електричні машини і трансформатори : навч. посіб. / за ред. В. І. Мілих. Київ : Каравела, 2018. 454 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Ostashev_2018_452.pdf
7. Приклади складання списку використаних джерел за ДСТУ 8302:2015 та APA Style (7th Edition) / уклад. : О. О. Цокало, Д. В. Ткаченко. Миколаїв : МНАУ, 2023. 27 с. <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15637>
8. Скляр О. Г., Болтянська Н. І. Технології наукових досліджень : підручник. Мелітополь : ФОП Однорог Т.В., 2022. 682 с.

9. Ставинський А. А., Циганов О. М. Спеціальні електричні машини. Частина 1 "Електричні машини систем автоматики" : навчальний посібник. Миколаїв : МНАУ, 2025. 77 с.
URL:<https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/21980>

10. Теоретичні основи електротехніки - 2: Лабораторний практикум : навч. посіб. / М. П. Бурик, Л. Ю. Спінул, В. Ю. Лободзинський ; Н. В. Беленок, Ю. М. Чуняк КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 96 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/f8ebe919-c814-4e26-abe1-60e492c23f76/content>

Додаткова

1. Пат. 136520 Україна. Мікропроцесорна система керування електроприводами промислового обладнання / О. В. Савченко, І. С. Білюк, А. М. Фоменко, Д. Ю. Шарейко, Р. А. Ставинський, С. І. Ольшевський, Л. А. Фоменко, С. О. Гаврилов, І. В. Оружак (Україна). – Заявл. 22.02.2019 ; опубл. 27.08.2019, Бюл. № 16.

2. Р.А. Ставинський, О.А. Авдєєва, О.М. Циганов. Покращення основних показників трансформаторів з витими нероз'ємними магнітопроводами шляхом зміни формування кругових витків обмотки. *Електричні машини та апарати*. 2022. № 3. С. 3–7.

3. Тимчук С. О., Сиротенко М. О., Мардзявко В. Підвищення ефективності технологічного процесу елеваторного комплексу за рахунок оптимальної маршрутизації. *Інженерія природокористування*. 2021. Т. 4, № 22. С. 82–88.

4. V. Mardziavko, A. Rudenko. Optimization of the algorithm of the routing process of the elevator complex for the transportation of grain. *International periodic scientific journal "Modern engineering and innovative technologies"* 2024. Issue № 35. P. 37-47.

Електронні ресурси

1. ДСТУ 2313-93 Електроприводи. Терміни та визначення. *БУДСТАНДАРТ*

Online - нормативні документи будівельної галузі України.

URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60224.

2. ДСТУ 2649-94 Електродвигуни асинхронні заглибні. Загальні технічні умови (ГОСТ 30195-94). *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України.* URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=93694.

3. ДСТУ 8312:2015 Машини електричні малої потужності. Двигуни. Загальні технічні умови. *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України.* URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=72817.

4. ДСТУ 2.701:2011. Єдина система конструкторської документації. Схеми. Види та типи. Київ : Держспоживстандарт України, 2012. 28 с.

5. ДСТУ 2.708:2013. ЄСКД. Правила виконання електричних схем. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 35 с.

ДОДАТКИ

Додаток №1

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

з дисципліни

“Теорія електроприводу ”

на тему: “ Розрахунок електропривода механізму підйому мостового крана ”

Виконав студент групи: Ен 4/1

_____ (підпис)

Олексій ХАРИТОН
(імя, прізвище)

Керівник:

_____ (підпис)

асистент Олександр ОЛЕКСАНДР
(імя, прізвище)

2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО
КУРСОВОГО ПРОЕКТУ
з дисципліни
“Теорія електроприводу ”
на тему: “ Розрахунок електропривода механізму підйому мостового крана ”

Виконав студент групи: Ен 4/1

_____ (підпис)

Олексій ХАРІТОН
(імя, прізвище)

Керівник:

_____ (підпис)

асистент Олександр ОЛЕКСАНДР
(імя, прізвище)

2025

					141. Ен 4/1. 09. КП ТЕП	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Навчальне видання

ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Методичні рекомендації

Укладачі: **Ставинський** Ростислав Андрійович

Мардзявко Віталій Анатолійович

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 5,8.

Тираж 20 прим. Зам. №_____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідотство субекта видавничої справи ДК № 4490 від 09.06.2013 р.