

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій**

ДОЦ., К.Т.Н. /Окушко О.В./
підпис (ПІБ)
„_____” _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «РОЗРОБЛЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПРЕСОВОГО МЕХАНІЗМУ У СЕРВУІСНОМУ
ЦЕНТРІ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ»**

Спеціальність: 141 — «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» _____

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Синявський О.Ю.
(ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Васюк В.В
(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Шмигельський Р.М
(ПІБ)

КИЇВ–2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій**

доц., к.т.н. /Окушко О.В./
підпис (ПІБ)
„_____” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

**на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту
Шмигельському Ростиславу Миколайовичу**

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: «Розроблення енергозберігаючого електроприводу пресового механізму у сервісному центрі для обслуговування електродвигунів» затверджена наказом ректора НУБіП України від 30.10.2025, № 2607 “С”.

Термін подання завершеної роботи на кафедру: 01.06.2026

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Об’єктом дослідження є пресовий механізм із трифазним асинхронним електродвигуном потужністю 16 кВт.

Електропривод працює у повторно-короткочасному режимі з нерівномірним навантаженням протягом робочого циклу пресування. Живлення здійснюється від трифазної мережі змінного струму напругою 380 В частотою 50 Гц.

Основні параметри електроприводу:

1. Номінальна потужність асинхронного двигуна – 16 кВт.
2. Номінальна частота обертання двигуна – 1460 об/хв.
3. Частота обертання вала преса – 120 об/хв.
4. Напруга живлення електроприводу – 380 В.
5. ККД електродвигуна – 0,90.
6. Коефіцієнт потужності – 0,85.
7. Зусилля пресування – 25 кН.
8. Розрахунковий радіус кривошипа – 0,04 м.
9. ККД виконавчого механізму – 0,86.
10. ККД механічної передачі – 0,90.
11. Момент інерції механізму на валу преса – 12 кг·м².
12. Момент інерції ротора двигуна – 0,09 кг·м².
13. Час розгону електроприводу – 2 с.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Передбачається модернізація системи керування шляхом застосування частотного перетворювача для забезпечення плавного регулювання швидкості, зниження пускових струмів та підвищення енергоефективності роботи пресового механізму.

Перелік питань, що підлягають розробці

1. Проаналізувати конструкцію та принцип роботи пресового механізму.
2. Дослідити режими роботи електроприводу та характер навантаження протягом технологічного циклу.
3. Виконати розрахунок статичних і динамічних навантажень пресового механізму.
4. Розрахувати та вибрати асинхронний електродвигун і частотний перетворювач.
5. Виконати розрахунок пускових та робочих струмів електроприводу.
6. Розробити систему електропостачання та вибрати апарати захисту.
7. Розробити принципову електричну схему живлення та керування енергозберігаючим електроприводом преса.
8. Розглянути питання охорони праці, електробезпеки та безпечної експлуатації пресового обладнання.
9. Виконати техніко-економічне обґрунтування впровадження частотно-регульованого електроприводу.

Перелік графічного матеріалу

1. Схема кінематична пресового механізму та графіки навантаження електроприводу.
2. Схема освітлення робочого приміщення
3. План розташування пресового обладнання та мережі силового електропостачання дільниці.
4. Схема електрична принципова живлення та керування енергозберігаючим електроприводом преса.
5. Техніко-економічні показники проєкту та діаграми порівняння енергоспоживання до і після модернізації.

Дата видачі завдання 30.10.2025

**Керівник бакалаврської
Кваліфікаційної роботи**

Васюк В.В

Завдання прийняв до виконання

Шмигельський Р.М.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Формат	Позначення	Найменування	Кільк.	№	При- мітка
			аркуш	прим.	
A4	02.02-КР.2607 "С" 26.10.30.028.ПЗ	Схема кінематична пресового механізму та графіки навантаження електроприводу.	1	1	
A4	02.02-КР.2607 "С" 26.10.30.028.ПЗ	Схема освітлення робочого приміщення	1	1	
A4	02.02-КР.2607 "С" 26.10.30.028.ПЗ	План розташування пресового обладнання та мережі силового електропостачання ділянки.	1	1	
A4	02.02-КР.2607 "С" 26.10.30.028.ПЗ	Схема електрична принципова живлення та керування енергозберігаючим електроприводом преса	1	1	
A4	02.02-КР.2607 "С" 26.10.30.028.ПЗ	Техніко-економічні показники проєкту та діаграми порівняння енергоспоживання до і після модернізації	1	1	

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ПРЕСОВИХ МЕХАНІЗМІВ ТА ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	10
1.1 Характеристика підприємства	10
1.2 Характеристика пресового механізму та умов його роботи.....	11
1.3 Аналіз технологічного процесу роботи пресового механізму	14
1.4 Аналіз навантажувальних режимів електроприводу преса	18
1.5 Розрахунок освітлення.....	
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПРЕСОВОГО МЕХАНІЗМУ.....	24
2.1 Визначення вихідних даних для розрахунку електроприводу	24
2.2 Розрахунок статичних і динамічних навантажень пресового механізму.....	25
2.3 Розрахунок потужності електродвигуна пресового механізму	28
2.4 Перевірка асинхронного двигуна потужністю 16 кВт за умовами роботи...	31
2.5 Розрахунок пускових і робочих струмів електроприводу	33
2.6 Аналіз енергоспоживання електроприводу у робочому циклі.....	35
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПРЕСОВОГО МЕХАНІЗМУ	37
3.1 Обґрунтування вибору енергозберігаючої структури електроприводу	39
3.2 Вибір асинхронного двигуна потужністю 16 кВт	39
3.3 Вибір частотного перетворювача для керування електроприводом	40
3.4 Розроблення схеми керування електроприводом пресового механізму	42
3.5 Розрахунок параметрів частотного регулювання електроприводу.....	43
3.6 Оцінка енергоефективності запропонованої системи електроприводу	45
РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНОГО РІШЕННЯ	47
4.1 Розрахунок капітальних витрат на впровадження електроприводу	47

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат електроприводу **Помилка! Закладку не визначено.**

4.3 Оцінка економії електроенергії після впровадження частотного регулювання 51

4.4 Розрахунок економічної ефективності модернізації електроприводу **Помилка! Закладку не визначено.**

4.5 Визначення терміну окупності проєктного рішення..... 52

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ 54

5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при роботі пресового механізму 54

5.2 Вимоги електробезпеки при експлуатації асинхронного електроприводу... 56

5.3 Захист електроприводу від аварійних режимів роботи 57

5.4 Пожежна безпека виробничого приміщення..... 59

5.5 Заходи безпечного обслуговування пресового механізму..... 61

ВИСНОВКИ..... 63

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 65

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасні пресові механізми широко застосовуються у виробничих процесах, де необхідне створення значних механічних зусиль для стискання, формування, ущільнення або оброблення матеріалів. Ефективність роботи такого обладнання значною мірою залежить від характеристик електроприводу, який забезпечує передавання механічної енергії до робочого органа преса, підтримання заданого режиму навантаження та стабільність технологічного циклу.

У більшості пресових механізмів використовуються асинхронні електродвигуни, що пояснюється їх простою конструкцією, надійністю, відносно низькою вартістю та придатністю до роботи у важких виробничих умовах. Разом з тим традиційні електроприводи з прямим пуском або нерегульованою швидкістю мають низку недоліків: підвищені пускові струми, механічні удари в передачах, перевитрату електроенергії при змінному навантаженні та обмежені можливості регулювання технологічного режиму.

Для пресового механізму з асинхронним двигуном потужністю 16 кВт характерні нерівномірні навантаження протягом робочого циклу. У фазах холостого ходу або допоміжних переміщень потреба у потужності є меншою, ніж у фазі безпосереднього пресування. За відсутності регулювання електропривід споживає надлишкову електроенергію, а двигун і механічна передача працюють з підвищеними динамічними навантаженнями. Це знижує енергоефективність обладнання та скорочує ресурс його елементів.

Одним із основних напрямів підвищення ефективності роботи пресових механізмів є застосування енергозберігаючого електроприводу на базі асинхронного двигуна з частотним регулюванням. Використання перетворювача частоти дозволяє плавно змінювати швидкість обертання двигуна, зменшувати пускові струми, оптимізувати споживання електроенергії

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідно до навантаження та забезпечувати більш м'який режим роботи механічної частини преса.

Актуальність теми роботи обумовлена необхідністю підвищення енергоефективності електроприводів виробничих механізмів шляхом впровадження регульованих систем керування асинхронними двигунами. Для пресового механізму це дозволяє зменшити витрати електроенергії, підвищити надійність роботи обладнання, знизити динамічні навантаження під час пуску та забезпечити стабільність технологічного процесу.

Об'єктом дослідження є електропривод пресового механізму на базі асинхронного двигуна потужністю 16 кВт.

Предметом дослідження є процеси керування режимами роботи асинхронного електроприводу пресового механізму з метою підвищення його енергоефективності.

Метою роботи є розроблення енергозберігаючого електроприводу пресового механізму на базі асинхронного двигуна потужністю 16 кВт із застосуванням технічних рішень, що забезпечують зниження енергоспоживання та покращення експлуатаційних характеристик приводу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- проаналізувати умови роботи пресового механізму та особливості його навантажувального режиму;
- дослідити існуючі системи електроприводу пресових механізмів;
- виконати розрахунок статичних і динамічних навантажень електроприводу;
- обґрунтувати використання асинхронного двигуна потужністю 16 кВт;
- виконати розрахунок пускових і робочих параметрів електроприводу;
- вибрати перетворювач частоти та елементи системи керування;
- розробити схему енергозберігаючого електроприводу пресового механізму;
- оцінити енергетичну ефективність запропонованої системи;

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- виконати техніко-економічне обґрунтування модернізації електроприводу;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки експлуатації електроприводу.

Практичне значення роботи полягає у розробленні технічних рішень щодо створення енергозберігаючого електроприводу пресового механізму, які можуть бути використані при модернізації виробничого обладнання з асинхронними двигунами. Запропонований підхід дозволяє зменшити електроспоживання, підвищити плавність пуску, знизити механічні навантаження на елементи приводу та покращити надійність роботи пресового механізму.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРЕСОВИХ МЕХАНІЗМІВ ТА ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

1.1 Характеристика підприємства

Об'єктом дослідження прийнято промислове підприємство машинобудівного або металообробного профілю, у структурі якого функціонує заготівельно-пресова дільниця. Основними технологічними операціями підприємства є підготовка металевих заготовок, механічна обробка, пресування, гнуття, штампування та складання окремих вузлів. Для виконання цих операцій застосовуються механічні та гідравлічні преси, верстати, допоміжні механізми подачі заготовок, системи вентиляції, компресорне обладнання та внутрішньоцехові електричні мережі.

Електропостачання виробничої дільниці здійснюється від трифазної мережі змінного струму напругою 0,4 кВ частотою 50 Гц. Розподіл електроенергії між споживачами виконується через силові шафи, автоматичні вимикачі, апарати захисту, пускову та комутаційну апаратуру відповідно до вимог улаштування електроустановок і безпечної експлуатації електрообладнання [1], [2].

Основним об'єктом модернізації є електропривод пресового механізму на базі асинхронного двигуна потужністю 16 кВт. Пресовий механізм працює у повторно-короткочасному режимі з нерівномірним навантаженням, підвищеним моментом у робочій фазі, періодами холостого ходу та значними пусковими струмами. Такий режим роботи зумовлює додаткові втрати електроенергії, механічні перевантаження привідних елементів і підвищене теплове навантаження на електродвигун.

Загальна характеристика виробничого об'єкт табл. 1.1.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна характеристика виробничого об'єкта

Показник	Характеристика
Профіль підприємства	Машинобудівне або металообробне виробництво
Основна дільниця	Заготівельно-пресова
Основне обладнання	Пресовий механізм, верстати, допоміжні механізми подачі заготовок
Напруга живлення	0,4 кВ, трифазна мережа змінного струму
Частота мережі	50 Гц
Об'єкт модернізації	Електропривод пресового механізму
Тип електродвигуна	Асинхронний трифазний двигун
Номінальна потужність двигуна	16 кВт
Основна технічна проблема	Підвищене енергоспоживання, пускові струми, нерівномірне навантаження
Напрямок модернізації	Впровадження частотного регулювання та енергозберігаючого режиму роботи

З урахуванням характеру навантаження пресового механізму доцільним напрямом модернізації є застосування частотного перетворювача. Таке рішення дає змогу обмежити пускові струми, забезпечити плавний розгін і гальмування, зменшити механічні удари в приводі та адаптувати швидкість електродвигуна до фактичного технологічного циклу [3]. Вибір електродвигуна й системи керування повинен також враховувати сучасні вимоги до енергоефективності трифазних електричних машин, зокрема класи ефективності ІЕ для електродвигунів [4].

Отже, підприємство має типову для металообробного виробництва структуру електроспоживання, у якій пресове обладнання є одним із найбільш навантажених споживачів електроенергії. Тому подальший розрахунок параметрів електроприводу та розроблення енергозберігаючої системи керування є технічно обґрунтованими.

1.2 Характеристика пресового механізму та умов його роботи

У роботі як базовий виробничий об'єкт прийнято гідравлічний прес рамного типу вертикальної дії, призначений для виконання операцій

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пресування, формоутворення, калібрування, штампування та виправлення металевих заготовок. Такий прес належить до обладнання циклічної дії, оскільки його робочий орган здійснює послідовні переміщення: підведення до заготовки, робочий хід із наростанням тиску, витримку під навантаженням, зворотний хід і технологічну паузу.

Принципова гідравлічна схема та загальний вигляд пресового механізму наведені на рисунку 1.1. Основними вузлами установки є асинхронний електродвигун, гідравлічний насос, запобіжний клапан, манометр, зворотний клапан, гідравлічний розподільник, гідроциліндр двосторонньої дії, дросель, фільтр і гідробак. Електродвигун приводить у дію насос, який створює потік робочої рідини в напірній лінії. Через гідророзподільник потік спрямовується до відповідної порожнини гідроциліндра, унаслідок чого формується поступальний рух робочого органа преса.

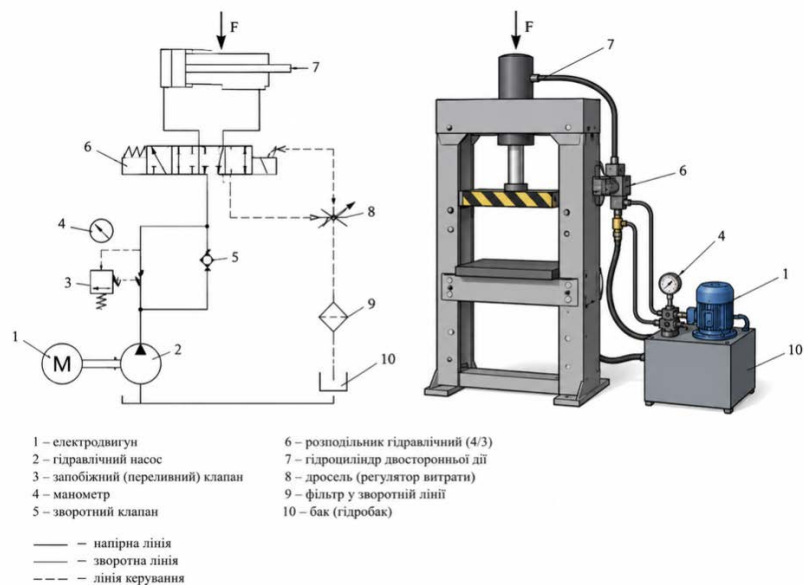


Рис. 1.1. Принципова гідравлічна схема та загальний вигляд пресового механізму

Як технічний аналог для подальших розрахунків прийнято рамний гідравлічний прес СМН-300S. За технічними даними виробника, прес має номінальне зусилля 300 т, максимальний тиск гідросистеми 24 МПа, хід робочого органа 150 мм, швидкість робочої подачі 1–7 мм/с, швидкість

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зворотного ходу 130 мм/с, габарити робочого столу 600 × 580 мм, масу близько 4800 кг і потужність електродвигуна 16 кВт [5]. Такі параметри відповідають темі кваліфікаційної роботи, оскільки об'єктом модернізації є електропривод пресового механізму на базі асинхронного двигуна потужністю 16 кВт.

Табл. 1.2

Технічна характеристика базового пресового механізму

Показник	Значення
Тип преса	Рамний гідравлічний прес вертикальної дії
Прийнятий технічний аналог	СМН-300S
Номінальне зусилля пресування	300 т
Еквівалентне зусилля пресування	2943 кН
Максимальний тиск гідросистеми	24 МПа
Максимальний хід робочого органа	150 мм
Швидкість робочої подачі	1–7 мм/с
Швидкість зворотного ходу	130 мм/с
Розмір рухомого робочого столу	600 × 580 мм
Потужність електродвигуна	16 кВт
Орієнтовна маса обладнання	4800 кг

Зусилля гідравлічного преса визначається добутком тиску робочої рідини на ефективну площу поршня гідроциліндра:

$$F = p \cdot A, \quad (1.1)$$

де F – зусилля пресування, Н;

p – тиск у гідравлічній системі, Па;

A – ефективна площа поршня гідроциліндра, м².

Для преса з номінальним зусиллям 300 т еквівалентне силове навантаження становить:

$$F=300 \cdot 9,81=2943 \text{ кН. } F=300 \cdot 9,81=2943 \text{ кН.}$$

Отже, для створення зусилля пресування 300 т при тиску 24 МПа необхідний гідроциліндр з орієнтовним діаметром поршня 395 мм. Це

підтверджує значний рівень навантаження на насосну установку та електродвигун приводу.

Умови роботи пресового механізму є важкими для електроприводу. Навантаження має різкозмінний характер: під час холостого переміщення робочого органа двигун працює з неповним навантаженням, а під час фази пресування момент на валу різко зростає. Додатково на роботу електроприводу впливають інерція рухомих мас, тиск у гідросистемі, втрати в насосі, втрати на дроселювання та часті пуски в межах технологічного циклу.

Для традиційної схеми з прямим пуском асинхронного двигуна характерні підвищені пускові струми, електромеханічні удари, додаткове нагрівання обмоток і збільшення втрат електроенергії. Тому для такого пресового механізму доцільно застосовувати частотно-регульований електропривод, який забезпечує плавний пуск, регулювання швидкості насосної установки, зменшення ударних навантажень і зниження енергоспоживання в режимах неповного навантаження.

Отже, прийнятий пресовий механізм є енергоємним циклічним обладнанням із нерівномірним навантаженням, високим робочим тиском і підвищеними вимогами до плавності керування. Наявність асинхронного електродвигуна потужністю 16 кВт обґрунтовує подальший розрахунок параметрів електроприводу та розроблення енергозберігаючої системи частотного регулювання.

1.3 Аналіз технологічного процесу роботи пресового механізму

Технологічний процес роботи пресового механізму має циклічний характер і складається з підготовчих, робочих та завершальних операцій. Кожний цикл починається з перевірки готовності обладнання, подавання заготовки та її встановлення на робочому столі. Після цього виконується

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підведення робочого органа, пресування заготовки, витримка під тиском, зворотний хід, видалення готової деталі та підготовка до наступного циклу.

Схема технологічного процесу роботи пресового механізму наведена на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Схема технологічного процесу роботи пресового механізму

На першому етапі здійснюється підготовка преса до роботи. Оператор або система керування перевіряє справність електроприводу, гідравлічної системи, захисних пристроїв, стан робочого органа та готовність преса до виконання операції. Для гідравлічного преса важливими є контроль тиску в системі, стан гідравлічної рідини, герметичність з'єднань і правильність положення рухомих елементів.

Другий і третій етапи пов'язані з подаванням, встановленням та позиціонуванням заготовки. Заготовка розміщується на робочому столі преса відповідно до положення інструмента. Від точності позиціонування залежить рівномірність прикладання зусилля, якість формоутворення та відсутність перекосів під час пресування. На цих етапах електропривод пресового механізму або не працює, або перебуває в режимі мінімального навантаження.

Після встановлення заготовки виконується підведення робочого органа до зони пресування. Для гідравлічних пресів характерним є поєднання швидкого підведення, повільного робочого ходу та швидкого повернення. Така організація циклу дає змогу скоротити непродуктивний час і забезпечити необхідну точність у момент безпосереднього деформування заготовки [6].

Основним етапом технологічного процесу є робочий хід, під час якого відбувається пресування заготовки. У цей момент робочий орган контактує із заготовкою, тиск у гідравлічній системі зростає, а навантаження на насосну установку та електродвигун досягає найбільших значень. Для прийнятого аналога СМН-300S номінальне зусилля пресування становить 300 т, а потужність електродвигуна - 16 кВт, що відповідає умовам теми роботи [5].

Після завершення робочого ходу виконується короткочасна витримка під тиском. Ця операція потрібна для стабілізації форми деталі, завершення процесу деформування або забезпечення заданих технологічних параметрів. У режимі витримки електропривод працює не так, як під час активного переміщення робочого органа: основне завдання полягає не у створенні високої швидкості руху, а в підтриманні необхідного тиску в гідросистемі.

Далі відбувається зворотний хід робочого органа. На цьому етапі робочий орган повертається у вихідне положення, а навантаження на електропривод зменшується порівняно з фазою пресування. Після повернення робочого органа готова деталь видаляється з робочої зони, виконується візуальний або технологічний контроль якості, після чого прес готується до наступного циклу.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Послідовність технологічного процесу роботи пресового механізму

№ етапу	Операція	Технічна характеристика етапу	Навантаження електроприводу
1	Підготовка преса до роботи	Перевірка обладнання, захистів, гідросистеми та положення робочого органа	Відсутнє або мінімальне
2	Подавання та встановлення заготовки	Розміщення заготовки на робочому столі	Мінімальне
3	Позиціонування заготовки	Вирівнювання заготовки відносно інструмента	Мінімальне
4	Підведення робочого органа	Переміщення робочого органа до зони контакту	Невелике або середнє
5	Робочий хід - пресування	Деформування заготовки під дією зусилля преса	Максимальне
6	Витримка під тиском	Підтримання необхідного тиску для завершення операції	Середнє або змінне
7	Зворотний хід робочого органа	Повернення робочого органа у вихідне положення	Середнє
8	Видалення готової деталі	Зняття деталі з робочого столу	Мінімальне
9	Контроль якості та підготовка до наступного циклу	Огляд деталі та підготовка обладнання до повторення циклу	Відсутнє або мінімальне

З аналізу технологічного процесу видно, що навантаження електроприводу протягом циклу є нерівномірним. Найбільша потужність потрібна під час робочого ходу, коли насосна установка забезпечує створення тиску для пресування. У фазах підготовки, встановлення заготовки, позиціонування, видалення деталі та контролю якості електродвигун не потребує повної потужності. Саме така нерівномірність є однією з причин надлишкового енергоспоживання в традиційних схемах приводу з постійною частотою обертання.

Для підвищення ефективності роботи пресового механізму доцільно застосовувати електропривод із частотним регулюванням. Він дозволяє зменшити швидкість обертання двигуна в режимах неповного навантаження,

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечити плавний пуск, знизити ударні навантаження в гідравлічній системі та обмежити пускові струми. Це особливо важливо для пресів циклічної дії, де протягом одного робочого циклу чергуються короточасні пікові навантаження та триваліші допоміжні операції.

Отже, технологічний процес роботи пресового механізму складається з послідовних операцій, що істотно відрізняються за характером навантаження електроприводу. Найбільш енергоємною є фаза робочого ходу, а допоміжні етапи створюють резерв для зменшення непродуктивного споживання електроенергії. Це підтверджує технічну доцільність подальшого розроблення енергозберігаючої системи електроприводу на базі асинхронного двигуна потужністю 16 кВт.

1.4 Аналіз навантажувальних режимів електроприводу преса

Електропривод пресового механізму працює в умовах нерівномірного циклічного навантаження. Для гідравлічного преса характерне чергування допоміжних операцій із малим навантаженням та короточасної робочої фази, під час якої тиск у гідросистемі різко зростає, а електродвигун переходить у режим підвищеного навантаження. Такий режим є типовим для пресового обладнання, де основна енергія витрачається не протягом усього циклу, а переважно під час робочого ходу [5], [6].

Найменше навантаження на електродвигун спостерігається під час підготовки преса, встановлення заготовки, позиціонування та видалення готової деталі. У ці періоди насосна установка або працює з мінімальною витратою, або перебуває в режимі очікування. У традиційних схемах керування асинхронний двигун при цьому продовжує обертатися з номінальною швидкістю, що призводить до непродуктивного споживання електроенергії.

Під час підведення робочого органа навантаження зростає, але ще не досягає максимального значення, оскільки контакт із заготовкою відсутній або

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

не супроводжується значним опором деформуванню. Найбільш навантаженою є фаза робочого ходу, коли гідроциліндр створює зусилля пресування, а насос повинен забезпечити необхідний тиск у системі. Саме в цей момент електродвигун потужністю 16 кВт працює з найбільшим механічним моментом і найбільшим споживанням електроенергії.

Табл. 1.4

**Характер навантаження електроприводу протягом робочого циклу
преса**

Етап роботи преса	Характер навантаження	Вплив на електропривод
Підготовка до роботи	Мінімальне	Електродвигун не потребує повної потужності
Подавання та встановлення заготовки	Мінімальне або відсутнє	Можливі непродуктивні втрати при постійній швидкості двигуна
Підведення робочого органа	Невелике або середнє	Потрібне плавне переміщення без ударних навантажень
Робочий хід	Максимальне	Найбільший момент на валу двигуна та найбільше енергоспоживання
Витримка під тиском	Середнє або змінне	Потрібне підтримання тиску без надлишкової подачі насоса
Зворотний хід	Середнє	Потрібне швидке повернення робочого органа у вихідне положення
Видалення деталі та контроль	Мінімальне	Доцільне зниження швидкості або перехід у режим очікування

Навантажувальний режим електроприводу преса можна оцінити як повторно-короточасний із різкозмінним моментом. Основними негативними чинниками для асинхронного двигуна є часті пуски, підвищені пускові струми, короточасні пікові навантаження, нагрівання обмоток і механічні удари в елементах приводу. При прямому пуску двигуна пусковий струм може значно перевищувати номінальний, що погіршує умови роботи електричної мережі та знижує ресурс електрообладнання.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Застосування частотно-регульованого електроприводу дає змогу узгодити швидкість обертання двигуна з фактичним навантаженням пресового механізму. У фазах малого навантаження частота обертання може бути знижена, а під час робочого ходу електропривод забезпечує необхідну потужність для створення тиску в гідросистемі. Це дозволяє зменшити пускові струми, обмежити гідравлічні удари, знизити втрати електроенергії та покращити тепловий режим асинхронного двигуна.

Отже, електропривод преса працює в нерівномірному навантажувальному режимі, де максимальна потужність потрібна лише на окремих ділянках циклу. Саме ця особливість є технічною передумовою для впровадження енергозберігаючого частотного керування асинхронним двигуном потужністю 16 кВт.

1.5 Розрахунок освітлення

Освітлення приміщень сервісного центру технічного обслуговування та ремонту електричних двигунів здійснюємо на основі світильників з енергозберігаючими LED лампами [4, 5]. Висота приміщень основних 5,2м а підсобних приміщень та виробничих приміщеннях, 2,6м, висота яких становить 2,6 м використовуємо дані параметри в наступних розрахунках.

Для розробки мережі освітлення в відповідності до технічних вимог повинні виконуватися умови, а саме в побутових приміщеннях повинен використовуватися кабель АВРГ для відкритого прокладання а провід АПВ та АППВ під штукатуркою, в виробничих приміщеннях використовуватись кабель АВРГ на скобах та провід АПВ.

Для здійснення розрахунку електричного освітлення застосуємо метод використання світлового потоку який знаходить своє використання при здійсненні розрахунків в закритих приміщеннях для рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Формула для розрахунків може бути представлена наступним чином:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (0.1)$$

де Φ – розрахунковий світловий потік лампи, лм; E – нормована необхідна освітленість, лк; S – загальна площа приміщення, м²; z – коефіцієнт що враховує нерівномірність освітлення, ($z = 1,15$); k – коефіцієнт запасу, ($k = 2,15$); N – загальна кількість світильників, шт; η – коефіцієнт використання світлового потоку.

В відповідності до норм необхідної освітленості для розрахунків приймемо нормовану освітленість в $E = 30$ лк. В якості світильника використаємо НСП-11-100-714 – який широко використовується для промислових підприємств, підвісний, та має пило-волого захист, технічні характеристики якого представлені в таблиці 1.7.

Наступним кроком є визначення кількості світильників виходячи з умови їх розміщення за необхідною відстанню L , м $\lambda = 1$.

$$L = \lambda \cdot H_p, \quad (0.2)$$

де H_p – висота для розрахунків ($H_p = 2,5$ м).

Відповідно,

$$L = 1 \cdot 2,5 \text{ м.}$$

Визначимо необхідну кількість рядів світильників N_a , шт, та кількість світильників у ряду N_b :

$$N_a = \frac{B}{L}; \quad N_b = \frac{A}{L};$$

де $B = 5$ м, $A = 5,5$ м є шириною і довжиною приміщення для якого здійснюється розрахунок.

$$N_a = \frac{5}{2,5} = 2; \quad N_b = \frac{5,5}{2,5} \approx 2 \text{ шт.}$$

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.7

Технічні характеристики підвісного світильника НСП-21-100-714

Параметр	Значення
Джерело світла	лампа LED
Кількість ламп, шт	1
Маса, кг	1, 60
Спосіб монтажу	підвісний
Патрон	E27
Спеціалізація	промисловий
Ступінь захисту	IP 52
Кліматичне виконання	У3

Відповідно сумарна кількість світильників буде дорівнювати:

$$N = N_a \cdot N_b = 2 \cdot 2 = 4 \text{ шт.}$$

Наступним кроком є необхідність врахування коефіцієнтів відбиття стін і підлоги та стелі приміщення [2]:

$$\rho_1 = 70\% \text{ – стелі, } \rho_2 = 50\% \text{ – стін, } \rho_3 = 30\% \text{ – підлоги.}$$

Індекс приміщення i визначається наступним чином [4, 5]:

$$i = \frac{A \cdot B}{A_p (A + B)} = \frac{5 \cdot 5,5}{2,5(5,5 + 5)} = 1,04.$$

Користуючись літературою [5, 6] визначимо – коефіцієнт використання світлового потоку, ($\eta = 0,37$).

Підставимо отримані результати в наведену вище формулу (1.14):

$$\Phi = \frac{30 \cdot 1,15 \cdot 5 \cdot 5,5 \cdot 1,15}{4 \cdot 0,37} = 732,2 \text{ лм.}$$

Вибірємо LED лампу Osram Classic A60 10W технічні характеристики якої представлені в табл. 1.8. Технічні характеристики LED лампи Osram Classic A60

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики LED лампи Osram Classic A60

Параметр	Значення
Напруга живлення, В	220
Тип цоколя	E27
Тип колби	A60
Споживана потужність, Вт	9
Загальний світловий потік, Лм	806
Температура кольору, К	4000
Габаритні розміри, мм	60x110
Кут розсіювання	180°
Клас енергоспоживання	a+

Підсумовуючи бачимо що різниця між розрахунковим світловим потоком лампи Φ і фактичним лампи $\Phi_{\text{л}}$ не перевищує допустимих розрахункових норм (+20% і -10%). Аналогічним чином виконаєм розрахунок для інших приміщень сервісного центру, результати представимо в вигляді світлотехнічної відомості.

Аналогічно виконаємо розрахунок освітлення світлодіодної лампами для іншої кімнати сервісного центру.

Використаємо світильник ІЕК ЛСП 3901А-36 (LLSP2-3901А-2-18-К03) основні технічні характеристики якого наведені в таблиці 1.9.

Далі необхідно визначити розрахунковий світловий потік приміщення за вищенаведеною методикою:

$$\Phi_p = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{\eta}, \quad (0.3)$$

де k – коефіцієнт запасу, ($k=1,3$); z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, для LED ламп ($z=1,1$); S – розрахункова площа приміщення, ($S = A \cdot B = 5,5 \cdot 5,5 = 30,25 \text{ м}^2$); E – нормована освітленість, ($E = 2300 \text{ лк}$).

Таблиця 1.9

Технічні характеристики світильника Matrix LL-36

Параметр	Значення
Тип	Промисловий світильник
Місце кріплення	Стельовий, поточний
Спосіб монтажу	Накладний
Кількість ламп	2
Напруга мережі, В	230
Тип патрона	G13
Мощність, Вт	36Вт (2x18)
Ступінь пиловологозахисту	IP65
Розміри, мм	1281x100x65 мм

Для даного світильника застосуємо LED лампу Enerlight T8 glass 9Вт 4500K G13 технічні характеристики якої наведені в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10

Технічні характеристики лампи Enerlight T8 glass 9Вт 4500K G13

Параметр	Значення
Джерело світла	Світлодіодна лампа (LED)
Температура світла, К	4500
Потужність, Вт	9
Кут розсіювання	270°
Типорозмір	T8
Ступінь захисту від вологи	IP20
Термін служби, г	35000
Світловий потік, лм	4680

Для світильників Matrix LL-36 з лампами Enerlight T8 glass 9Вт 4500K G13 визначимо індекс приміщення:

Коефіцієнти відбиття стелі, стін і підлоги становлять:

$$\rho_1 = 70\%, \rho_2 = 50\%, \rho_3 = 10, \eta = 0,44;$$

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p (5,5 + 5,5)} = 0,92.$$

Визначимо розрахунковий світловий потік в відповідності до формули(1.16):

$$\Phi_p = \frac{300 \cdot 1,3 \cdot 30,25 \cdot 1,1}{0,44} = 29493,75 \text{ лм.}$$

Розрахуємо необхідну кількість світильників:

$$N = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\text{л}}} = \frac{29493,75}{4680} = 6,3.$$

Отже, приймаємо 6 світильників Matrix LL-36 з лампами Enerlight T8 glass 9Вт 4500К G13 і розміщуємо по всій площі приміщення.

Розрахуємо повну потужність освітлення, кВт:

$$P = P_{\text{л}} \cdot N \cdot n, \quad (0.4)$$

де $P_{\text{л}}$ – потужність однієї лампи, кВт; N – кількість світильників, шт; n – кількість ламп у світильнику, шт;

$$P = 0,04 \cdot 6 \cdot 2 = 0,48 \text{ кВт.}$$

Визначимо потужність освітлення, враховуючи втрати в апаратах:

$$P_{\text{роз}} = P + 0,2 \cdot P; \quad (0.5)$$

$$P_{\text{роз}} = 0,48 + 0,2 \cdot 0,48 = 0,576 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунку зводимо в загальну світлотехнічну відомість. Розрахунки для інших приміщень сервісного центру виконаємо аналогічно, за необхідності використовуючи метод питомої потужності для розрахунку освітлення.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПРЕСОВОГО МЕХАНІЗМУ

2.1 Визначення вихідних даних для розрахунку електроприводу

Для розрахунку електроприводу пресового механізму прийнято трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором потужністю 16 кВт. Пресовий механізм працює у повторно-короткочасному режимі, тому для вибору двигуна враховуються не тільки статичне зусилля пресування, а й динамічна складова, пов'язана з розгоном рухомих мас.

Вихідні параметри прийнято з урахуванням типової структури електроприводу преса: електродвигун, механічна передача, кривошипно-шатунний або важільний виконавчий механізм і робочий орган пресування. Узагальнені дані для розрахунку наведено в таблиці 2.1.

Наведені параметри утворюють вихідну базу для визначення передаточного числа, кутової швидкості, номінального моменту та струму електродвигуна. Передаточне число механічної передачі визначається за співвідношенням частот обертання двигуна і вала пресового механізму:

$$u = n_n / n_p = 1460 / 120 = 12,17 \quad (2.1)$$

де u – передаточне число механічної передачі; n_n – номінальна частота обертання двигуна, об/хв; n_p – частота обертання вала преса, об/хв.

Кутова швидкість вала електродвигуна визначається за формулою:

$$\omega_n = 2\pi n_n / 60 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1460 / 60 = 152,89 \text{ рад/с} \quad (2.2)$$

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1

Вихідні дані для розрахунку електроприводу пресового механізму

Параметр	Познач.	Од. вим.	Знач.
Потужність асинхронного двигуна	P_n	кВт	16
Номінальна частота обертання двигуна	n_n	об/х в	1460
Частота обертання вала преса	n_p	об/х в	120
Напруга живлення електроприводу	U	В	380
ККД електродвигуна	η_e	відн. од.	0,90
Коефіцієнт потужності двигуна	$\cos\varphi$	відн. од.	0,85
Зусилля пресування	F_p	кН	25
Розрахунковий радіус кривошипа	r	м	0,040
ККД виконавчого механізму преса	η_m	відн. . од.	0,86
ККД механічної передачі	η_{tr}	відн. . од.	0,90
Момент інерції механізму на валу преса	J_p	кг·м ²	12,0
Момент інерції ротора двигуна	J_m	кг·м ²	0,090
Час розгону електроприводу	t_a	с	2,0

Номінальний момент асинхронного двигуна обчислюється через його номінальну потужність і частоту обертання:

$$M_n = 9550 \cdot P_n / n_n = 9550 \cdot 16 / 1460 = 104,7 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.3)$$

Номінальний струм трифазного електродвигуна визначається за активною потужністю, напругою живлення, ККД і коефіцієнтом потужності:

$$I_n = P_n \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta_e \cdot \cos\varphi) = 16 \cdot 10^3 / (1,732 \cdot 380 \cdot 0,90 \cdot 0,85) = 31,8 \text{ А} \quad (2.4)$$

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розраховані базові параметри електроприводу

Параметр	Поз.	Од. вим.	Знач.
Передаточне число передачі	u	відн. од.	12,17
Кутова швидкість двигуна	ω_n	рад/с	152,8 9
Номінальний момент двигуна	M_n	Н·м	104,7
Номінальний струм двигуна	I_n	А	31,8

Отримані значення показують, що базовий номінальний момент двигуна становить 104,7 Н·м, а орієнтовний робочий струм – 31,8 А. Ці величини використовуються як контрольні при перевірці навантажувальної здатності та виборі апаратів керування.

2.2 Розрахунок статичних і динамічних навантажень пресового механізму

Навантаження пресового механізму має нерівномірний характер. Найбільший момент виникає під час робочого ходу, коли виконавчий орган створює зусилля пресування. Для електроприводу необхідно визначити статичний момент, динамічний момент розгону та еквівалентний момент робочого циклу.

Статичний момент на валу пресового механізму визначається за зусиллям пресування, розрахунковим радіусом кривошипа та ККД виконавчого механізму:

$$M_{st \cdot p} = F_p \cdot r / \eta_m = 25000 \cdot 0,040 / 0,86 = 1162,8 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.5)$$

Статичний момент, приведений до вала електродвигуна, розраховується з урахуванням передаточного числа та ККД механічної передачі:

$$M_{st \cdot m} = M_{st \cdot p} / (u \cdot \eta_{tr}) = 1162,8 / (12,17 \cdot 0,90) \quad (2.6)$$

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$=106,2\text{Н}\cdot\text{м}$$

Для врахування інерційності рухомих частин визначається приведений момент інерції системи до вала електродвигуна:

$$J_e = J_m + J_p / u^2 = 0,090 + 12,0 / 12,17^2 = 0,171 \quad \text{кг}\cdot\text{м}^2 \quad (2.7)$$

Кутове прискорення під час розгону визначається за часом виходу двигуна на номінальну швидкість:

$$\varepsilon = \omega_n / t_a = 152,89 / 2,0 = 76,45 \text{ рад/с}^2 \quad (2.8)$$

Динамічний момент на валу електродвигуна дорівнює добутку приведенного моменту інерції та кутового прискорення:

$$M_d = J_e \cdot \varepsilon = 0,171 \cdot 76,45 = 13,1 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.9)$$

Повний момент навантаження на валу електродвигуна у найбільш напруженій частині циклу визначається як сума статичної та динамічної складових:

$$M_{\Sigma m} = M_{st.m} + M_d = 106,2 + 13,1 = 119,3 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.10)$$

Коефіцієнт короткочасного перевантаження за моментом визначається відносно номінального моменту двигуна:

$$k_m = M_{\Sigma m} / M_n = 119,3 / 104,7 = 1,14 \quad (2.11)$$

Таблиця 2.3

Результати розрахунку статичних і динамічних навантажень

Параметр	Поз.	Од. вим.	Знач.
Статичний момент на валу преса	Мст. п	Н·м	1162, 8
Статичний момент на валу двигуна	Мст. м	Н·м	106,2
Приведений момент інерції	Je	кг·м ²	0,171
Кутове прискорення двигуна	ε	рад/с ²	76,45
Динамічний момент розгону	Мд	Н·м	13,1
Повний момент у робочому ході	МΣм	Н·м	119,3
Коефіцієнт перевантаження	km	відн.	1,14

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

за моментом		од.	
-------------	--	-----	--

Результати розрахунку показують, що найбільший приведений момент на валу електродвигуна становить 119,3 Н·м, що перевищує номінальний момент на 14 %. Оскільки це перевантаження є короткочасним і виникає лише під час робочого ходу, подальша перевірка виконується за еквівалентним моментом циклу.

Для теплової оцінки електродвигуна прийнято цикл роботи пресового механізму, наведений у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Прийнятий навантажувальний цикл пресового механізму

Ділянка циклу	Тривалість, с	Момент на валу двигуна, Н·м	Характер роботи
Робочий хід пресування	6,0	119,3	максимальне навантаження
Холостий або зворотний хід	4,0	31,4	часткове навантаження
Технологічна пауза	2,0	0,0	відсутність навантаження

Еквівалентний момент за цикл визначається за середньоквадратичним значенням моментів на окремих ділянках:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{((M_{\Sigma m}^2 \cdot t_1 + M_0^2 \cdot t_2 + M_{\Pi}^2 \cdot t_3) / (t_1 + t_2 + t_3))} \quad (2.12)$$

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{((119,3^2 \cdot 6,0 + 31,4^2 \cdot 4,0 + 0,0^2 \cdot 2,0) / 12,0)} = 86,3 \text{ Н·м} \quad (2.13)$$

Коефіцієнт завантаження двигуна за еквівалентним моментом становить:

$$k_{\text{екв}} = M_{\text{екв}} / M_n = 86,3 / 104,7 = 0,82 \quad (2.14)$$

Отже, за тепловою дією навантажувального циклу двигун працює з коефіцієнтом завантаження 0,82. Це означає, що двигун не перевищує допустимий тривалий тепловий режим, а короткочасні пікові моменти доцільно обмежувати плавним пуском і частотним регулюванням.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Розрахунок потужності електродвигуна пресового механізму

Потужність електродвигуна для пресового механізму визначається за еквівалентним моментом навантаження, оскільки робота преса має циклічний характер. Такий підхід дозволяє врахувати реальну теплову дію навантаження на електродвигун і не завищувати встановлену потужність.

Еквівалентна механічна потужність на валу електродвигуна визначається за формулою:

$$P_{\text{екв}} = M_{\text{екв}} \cdot \omega_n / 1000 = 86,3 \cdot 152,89 / 1000 = 13,19 \text{ кВт} \quad (2.15)$$

Розрахункова потужність з урахуванням запасу на нерівномірність навантаження, можливі відхилення параметрів матеріалу та втрати у передачі визначається так:

$$P_r = k_z \cdot P_{\text{екв}} = 1,15 \cdot 13,19 = 15,17 \text{ кВт} \quad (2.16)$$

де k_z – коефіцієнт запасу, який для пресового механізму приймається на рівні 1,15.

Для перевірки короткочасного режиму визначається пікова потужність під час робочого ходу:

$$P_{\text{пiк}} = M_{\Sigma m} \cdot \omega_n / 1000 = 119,3 \cdot 152,89 / 1000 = 18,24 \text{ кВт} \quad (2.17)$$

Пікова потужність перевищує номінальну потужність двигуна, однак вона діє короткочасно. Тому додатково перевіряється допустимий момент двигуна за перевантажувальною здатністю:

$$M_{\text{доп}} = \lambda \cdot M_n = 2,0 \cdot 104,7 = 209,3 \text{ Н·м} \quad (2.18)$$

Оскільки допустимий короткочасний момент 209,4 Н·м більший за розрахований максимальний момент 119,3 Н·м, двигун потужністю 16 кВт задовольняє умову перевантаження за моментом.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка потужності та вибір електродвигуна

Параметр	Поз.	Од. вим.	Знач.
Еквівалентний момент навантаження	Мекв	Н·м	86,3
Еквівалентна потужність	Рекв	кВт	13,19
Коефіцієнт запасу	кз	відн. од.	1,15
Розрахункова потужність з урахуванням запасу	Рр	кВт	15,17
Прийнята номінальна потужність двигуна	Рн	кВт	16
Пікова потужність під час робочого ходу	Рпк	кВт	18,24
Допустимий короточасний момент двигуна	Мдо п	Н·м	209,3

За результатами розрахунку необхідна потужність електродвигуна з урахуванням запасу становить 15,17 кВт, що менше за прийняту номінальну потужність 16 кВт. Запас за потужністю становить приблизно 5,5 %, тому використання асинхронного двигуна потужністю 16 кВт є технічно обґрунтованим.

Застосування частотного перетворювача у подальшому проєктному рішенні дозволить зменшити пускові струми, обмежити ударні механічні навантаження, забезпечити плавний розгін і знизити втрати електроенергії у режимах неповного навантаження пресового механізму.

2.4 Перевірка асинхронного двигуна потужністю 16 кВт за умовами роботи

Перевірку асинхронного двигуна потужністю 16 кВт виконано за тепловим станом і перевантажувальною здатністю. Для цього використано результати попередніх розрахунків: номінальний момент двигуна $M_n = 104,7$

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Н·м, еквівалентний момент навантаження $M_{\text{екв}} = 86,3 \text{ Н·м}$, максимальний момент у робочому ході $M_{\text{мах}} = 119,3 \text{ Н·м}$ та допустимий короткочасний момент $M_{\text{доп}} = 209,3 \text{ Н·м}$.

Умову роботи двигуна за нагріванням доцільно оцінювати за коефіцієнтом завантаження за еквівалентним моментом:

$$k_{\text{зав}} = M_{\text{екв}} / M_{\text{н}} = 86,3 / 104,7 = 0,82 \quad (2.19)$$

Оскільки значення $k_{\text{зав}} < 1$, двигун не перевантажується за тепловим станом і може працювати у прийнятому циклі без перевищення допустимого нагрівання обмоток.

Перевірка за максимальним моментом виконується через відношення найбільшого моменту навантаження до номінального моменту двигуна:

$$k_{\text{пер}} = M_{\text{мах}} / M_{\text{н}} = 119,3 / 104,7 = 1,14 \quad (2.20)$$

Для асинхронного двигуна загальнопромислового виконання допустима короткочасна перевантажувальна здатність за моментом приймається на рівні $\lambda = 2,0$. Тоді відносна використана перевантажувальна здатність становить:

$$k_{\text{доп}} = M_{\text{мах}} / M_{\text{доп}} = 119,3 / 209,3 = 0,57 \quad (2.21)$$

Отримане значення свідчить, що максимальний момент навантаження становить лише 57 % від допустимого короткочасного моменту двигуна. Отже, асинхронний двигун потужністю 16 кВт задовольняє умови роботи пресового механізму як за тепловим режимом, так і за перевантажувальною здатністю.

Крім того, еквівалентна потужність навантаження, визначена у підпункті 2.3, становить 13,19 кВт, що менше від номінальної потужності двигуна 16 кВт. Це підтверджує правильність прийнятого вибору та наявність необхідного експлуатаційного запасу.

Необхідні для розрахунку параметрів можна знайти, розрахувавши базові точки механічної характеристики АД (Рис. 2.4):

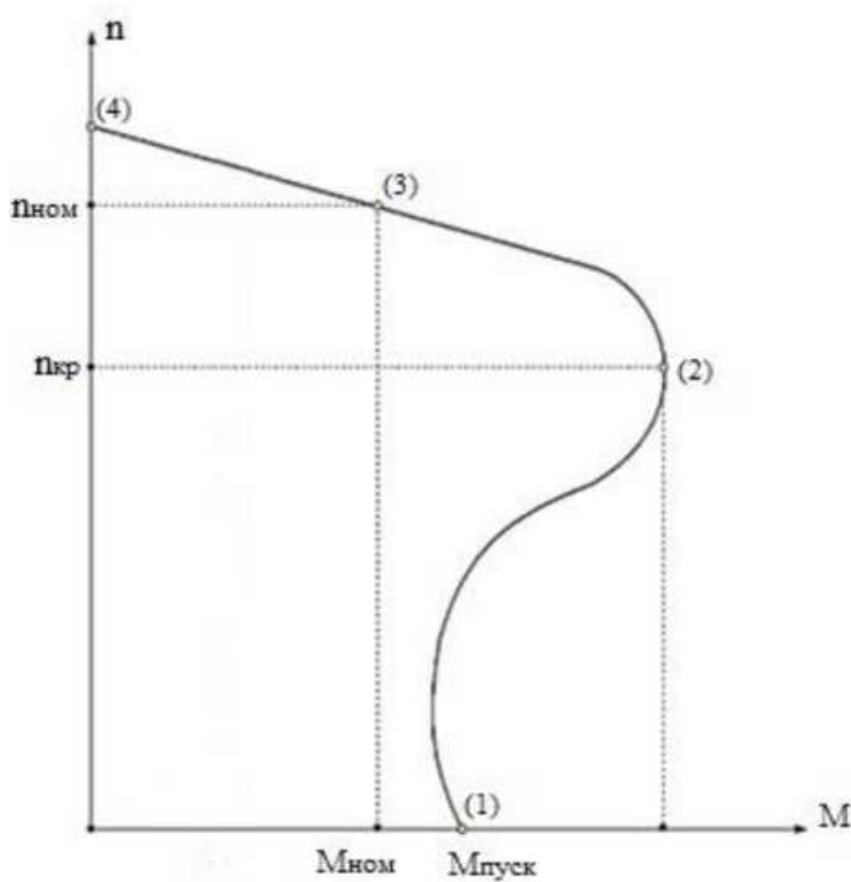
Т.(1) – режим КЗ, координати $(M = M_{\text{пуск}}; n = 0)$;

Т.(2) – критичний режим роботи, координати $(M = M_{\text{макс}}; n = n_{\text{кр}})$;

Т.(3) – режим номінального навантаження, координати $(M = M_{\text{ном}}; n = n_{\text{ном}})$;

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Т.(4) – режим ідеального ХХ, координати $(M = 0; n = n_{\text{синхр}})$.



Механічна характеристика асинхронного двигуна

2.5 Розрахунок пускових і робочих струмів електроприводу

Для оцінювання електромагнітних навантажень на мережу живлення та апаратуру керування визначаються номінальний, пусковий і робочий струми електроприводу. Номінальний струм двигуна, отриманий у підпункті 2.1, становить $I_n = 31,8 \text{ А}$.

Пусковий струм асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором при прямому пуску від мережі визначається за кратністю пускового струму:

$$I_p = k_p \cdot I_n = 6,5 \cdot 31,8 = 206,7 \text{ А} \quad (2.22)$$

Отже, прямий пуск супроводжується значним короточасним навантаженням на мережу, що є характерним недоліком асинхронних електроприводів пресових механізмів.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальний робочий струм у період робочого ходу преса визначається за піковою механічною потужністю $P_{\text{пik}} = 18,24 \text{ кВт}$:

$$I_{\text{max}} = P_{\text{пik}} \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta_e \cdot \cos\varphi) =$$

$$= 18,24 \cdot 10^3 / (1,732 \cdot 380 \cdot 0,90 \cdot 0,85) = 36,2 \text{ А} \quad (2.23)$$

Еквівалентний робочий струм за цикл, що відповідає еквівалентній потужності навантаження $P_{\text{екв}} = 13,19 \text{ кВт}$, становить:

$$I_{\text{екв}} = P_{\text{екв}} \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta_e \cdot \cos\varphi)$$

$$= 13,19 \cdot 10^3 / (1,732 \cdot 380 \cdot 0,90 \cdot 0,85) = 26,2 \text{ А} \quad (2.24)$$

Порівняння отриманих значень показує, що у сталому робочому режимі електропривод не досягає номінального струму двигуна, а максимальний струм у період пресування лише незначно перевищує номінальне значення. Найбільше навантаження на мережу виникає саме під час пуску.

Для енергозберігаючого електроприводу, який у наступному розділі передбачається реалізувати з використанням частотного перетворювача, пусковий струм може бути обмежений до рівня 1,5 номінального струму:

$$I_{\text{п.чп}} = 1,5 \cdot I_n = 1,5 \cdot 31,8 = 47,7 \text{ А} \quad (2.25)$$

Таким чином, застосування частотного регулювання дозволяє зменшити пусковий струм приблизно у 4,3 раза, знизити просідання напруги у мережі живлення та послабити електродинамічні й теплові навантаження на обмотки двигуна.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

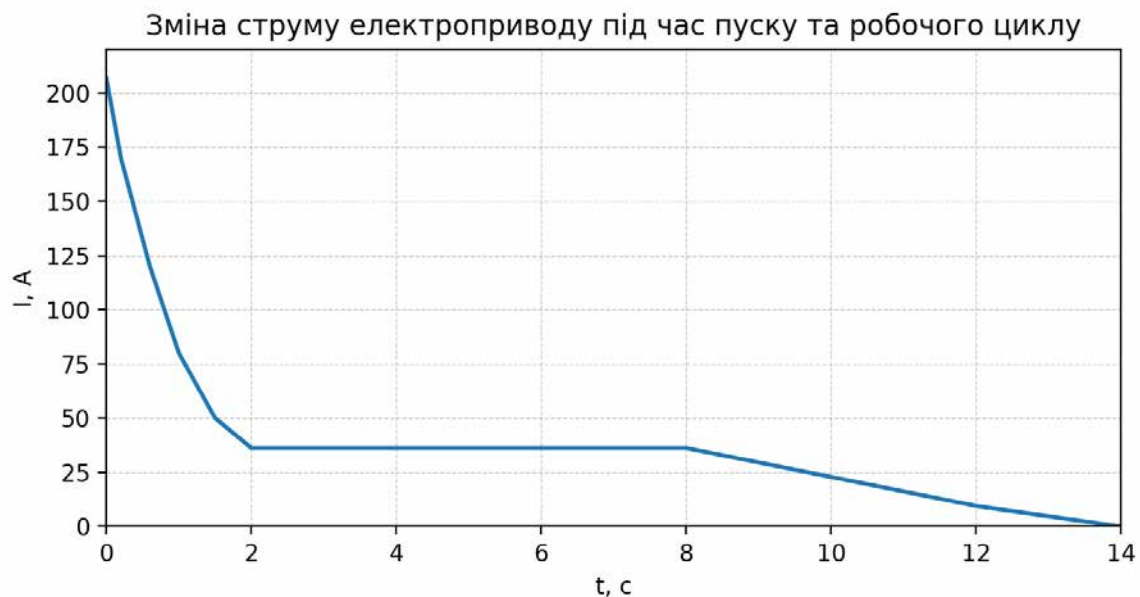


Рис. 2.1 – Зміна струму електроприводу під час пуску та у робочому циклі

На рисунку 2.1 показано, що найнебезпечнішим за струмовим навантаженням є пусковий режим. У робочому циклі преса струм змінюється відповідно до моменту навантаження і не виходить за межі допустимого для обраного двигуна.

2.6 Аналіз енергоспоживання електроприводу у робочому циклі

Оцінювання енергоспоживання електроприводу виконується за характерними ділянками робочого циклу пресового механізму: робочий хід пресування тривалістю 6 с, холостий або зворотний хід тривалістю 4 с та технологічна пауза тривалістю 2 с. Для кожної ділянки визначається споживана електрична потужність.

Електрична потужність, що споживається двигуном, обчислюється з урахуванням ККД електродвигуна:

$$P_{ел} = P_{мех} / \eta_e \tag{2.26}$$

Для робочого ходу пресування споживана електрична потужність становить:

$$P_{1\text{ел}} = \frac{P_{\text{пik}}}{\eta_e} = 18,24 / 0,90 = 20,27 \text{ кВт} \quad (2.27)$$

Для холостого або зворотного ходу, коли момент навантаження на валу двигуна становить 31,4 Н·м, механічна потужність дорівнює:

$$P_{2\text{мех}} = M_2 \cdot \omega_n / 1000 = 31,4 \cdot 152,89 / 1000 = 4,80 \text{ кВт} \quad (2.28)$$

Тоді відповідна електрична потужність дорівнює:

$$P_{2\text{ел}} = P_{2\text{мех}} / \eta_e = 4,80 / 0,90 = 5,33 \text{ кВт} \quad (2.29)$$

Електроенергія, спожита за один робочий цикл, визначається як сума добутків потужності на тривалість відповідних ділянок циклу:

$$A_{\text{ц}} = (P_{1\text{ел}} \cdot t_1 + P_{2\text{ел}} \cdot t_2 + P_{3\text{ел}} \cdot t_3) / 3600 \quad (2.30)$$

$$A_{\text{ц}} = (20,27 \cdot 6 + 5,33 \cdot 4 + 0 \cdot 2) / 3600 = 0,0397 \text{ кВт·год}$$

Середня споживана потужність електроприводу у робочому циклі становить:

$$P_{\text{сер}} = A_{\text{ц}} / (T_{\text{ц}} / 3600) = 0,0397 / (12 / 3600) = 11,91 \text{ кВт} \quad (2.31)$$

За умови безперервного повторення циклу протягом однієї години кількість циклів становитиме:

$$N_{\text{ц}} = 3600 / T_{\text{ц}} = 3600 / 12 = 300 \text{ цикл/год} \quad (2.32)$$

Тоді годинне споживання електроенергії електроприводом дорівнює:

$$A_{\text{год}} = A_{\text{ц}} \cdot N_{\text{ц}} = 0,0397 \cdot 300 = 11,91 \text{ кВт·год} \quad (2.33)$$

Коефіцієнт використання встановленої потужності приводу визначається як відношення середньої споживаної потужності до номінальної споживаної потужності двигуна:

$$k_{\text{вик}} = P_{\text{сер}} / (P_n / \eta_e) = 11,91 / (16 / 0,90) = 0,67 \quad (2.34)$$

Отримане значення коефіцієнта використання свідчить, що електропривод значну частину часу працює з неповним завантаженням. Саме ця особливість циклічної роботи пресового механізму створює передумови для підвищення енергоефективності шляхом застосування частотного регулювання,

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

яке дозволяє зменшити втрати під час розгону, холостого ходу та технологічних пауз.

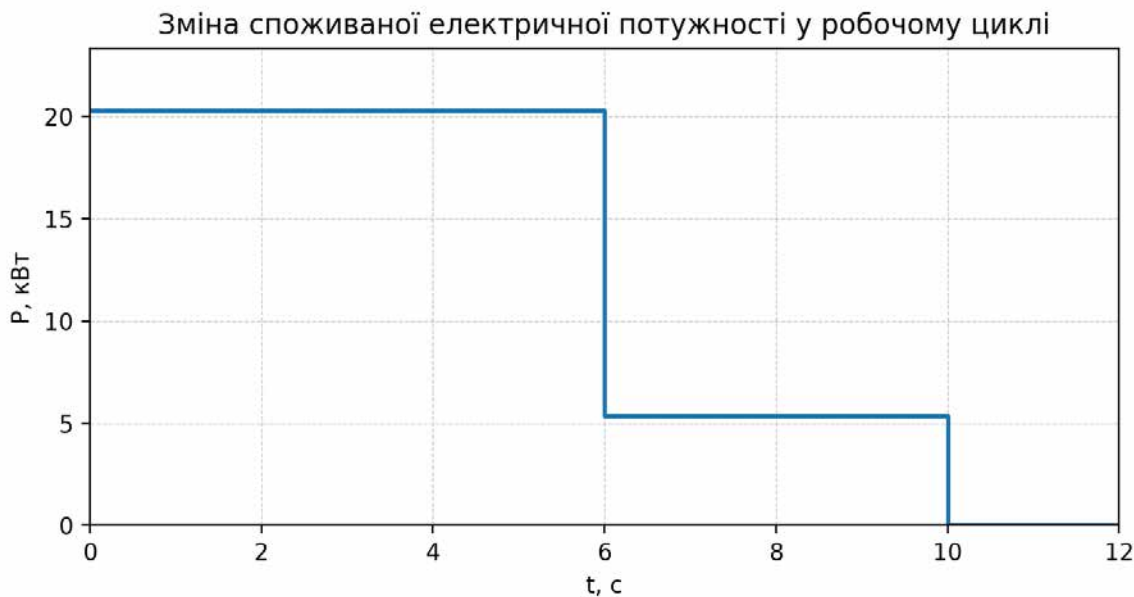


Рис. 2.2 – Зміна споживаної електричної потужності електроприводу у робочому циклі

Як видно з рисунка 2.2, найбільше енергоспоживання припадає на ділянку робочого ходу пресування. У режимі зворотного ходу споживана потужність суттєво знижується, а під час технологічної паузи корисна механічна потужність відсутня. Це підтверджує доцільність оптимізації режимів роботи електроприводу

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПРЕСОВОГО МЕХАНІЗМУ

3.1 Обґрунтування вибору енергозберігаючої структури електроприводу

Результати розрахунків другого розділу показали, що електропривод пресового механізму працює у повторюваному циклі з нерівномірним навантаженням. Найбільше струмове навантаження виникає у момент прямого пуску двигуна, коли пусковий струм досягає 206,7 А. У сталому робочому циклі максимальний струм становить 36,2 А, а еквівалентний робочий струм - 26,2 А. Отже, електродвигун потужністю 16 кВт має достатній запас за тепловим станом, однак існуюча схема прямого пуску створює підвищені електродинамічні навантаження на мережу, апарати комутації та обмотки двигуна.

Для пресового механізму доцільним є перехід від нерегульованого асинхронного електроприводу до системи з частотним перетворювачем. Така структура дозволяє обмежити пусковий струм, плавно розганяти виконавчий механізм, зменшити механічні удари в кінематичних ланках, оптимізувати швидкість зворотного ходу та знизити втрати у режимах неповного завантаження. Крім того, частотне регулювання дає змогу реалізувати електронний захист від перевантаження, перекосу фаз, зниження напруги, перегрівання та аварійної зупинки.

Порівняння можливих варіантів побудови електроприводу наведено у таблиці 3.1. У таблиці залишено лише основні ознаки, які безпосередньо впливають на технічний результат роботи, тому вона не перевантажує розділ допоміжними даними. Порівняння варіантів побудови електроприводу пресового механізму. Таблиця 3.1

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

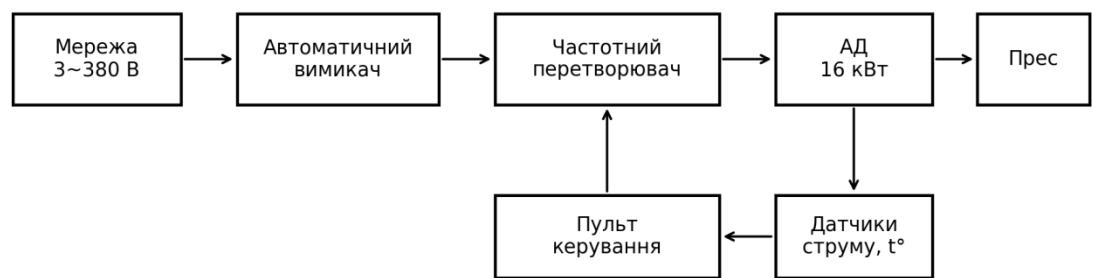
Таблиця 3.1

Порівняння варіантів побудови електроприводу пресового механізму

Варіант електроприводу	Пусковий режим	Регулювання швидкості	Доцільність застосування
Прямий пуск від мережі	$I_p \approx 6,5I_n$	відсутнє	простий, але створює значний пусковий струм
Пуск через пристрій плавного пуску	$I_p \approx 2,5-3I_n$	обмежене	зменшує ударні режими, але не оптимізує цикл
Частотне регулювання	$I_p \approx 1,5I_n$	плавне у широкому діапазоні	найбільш доцільне для циклічного навантаження

На основі порівняння приймається енергозберігаюча структура електроприводу з частотним перетворювачем, трифазним асинхронним двигуном потужністю 16 кВт, автоматичним вимикачем на вводі, пристроями захисту та пультом керування. Узагальнена структурна схема такої системи наведена на рисунку 3.1. Схема на рисунку 3.1 відображає послідовність перетворення електричної енергії та керування електроприводом: напруга мережі надходить через захисний автомат до частотного перетворювача, який формує регульовану напругу і частоту для асинхронного двигуна. Сигнали керування надходять від пульта, а зворотна інформація про стан приводу формується за струмом, температурою та режимом роботи механізму.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Керування за законом U/f з обмеженням струму пуску

Рис. 3.1 - Структурна схема енергозберігаючого електроприводу пресового механізму

3.2 Вибір асинхронного двигуна потужністю 16 кВт

У попередньому розділі встановлено, що еквівалентна потужність навантаження пресового механізму становить 13,19 кВт, а максимальна механічна потужність у робочому ході - 18,24 кВт. З урахуванням циклічного характеру навантаження, короткочасності пікового режиму та перевірки за еквівалентним моментом приймається асинхронний двигун номінальною потужністю 16 кВт. Такий вибір забезпечує достатній запас за нагріванням і не призводить до надмірного завищення встановленої потужності.

$$k_P = P_n / P_{\text{екв}} = 16 / 13,19 = 1,21 \quad (3.1)$$

де k_P - коефіцієнт запасу за еквівалентною потужністю; P_n - номінальна потужність двигуна, кВт; $P_{\text{екв}}$ - еквівалентна потужність навантаження, кВт.

Номінальний момент двигуна визначається через номінальну потужність і частоту обертання. Для чотирьополусного двигуна приймається номінальна частота обертання $n_n = 1460$ об/хв, що відповідає синхронній швидкості 1500 об/хв при частоті мережі 50 Гц.

$$M_n = 9550 \cdot P_n / n_n = 9550 \cdot 16 / 1460 = 104,7 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.2)$$

Отримане значення збігається з прийнятим у попередній перевірці двигуна. При еквівалентному моменті навантаження 86,3 Н·м коефіцієнт

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

завантаження становить 0,82, тому двигун працює без перевищення теплового режиму.

$$s_n = (n_c - n_n) / n_c = (1500 - 1460) / 1500 = 0,027 \quad (3.3)$$

Номінальне ковзання становить приблизно 2,7 %, що є типовим для асинхронних двигунів загальнопромислового виконання. Для подальших розрахунків приймаються параметри двигуна, наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Прийняті параметри асинхронного двигуна і частотного перетворювача

Параметр	Позначення	Значення
Номінальна потужність двигуна	P_n	16 кВт
Номінальна напруга	U_n	380 В
Номінальний струм	I_n	31,8 А
ККД двигуна	η_e	0,90
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi$	0,85
Номінальна частота обертання	n_n	1460 об/хв
Номінальний момент	M_n	104,7 Н·м
Рекомендована потужність ПЧ	РПЧ	18,5 кВт

Застосування двигуна потужністю 16 кВт є обґрунтованим, оскільки він задовольняє умови за еквівалентною потужністю, максимальним моментом і тепловим режимом. При цьому частотний перетворювач приймається з невеликим запасом потужності, щоб забезпечити стійку роботу під час пуску, гальмування та короткочасного перевантаження.

3.3 Вибір частотного перетворювача для керування електроприводом

Частотний перетворювач вибирається за номінальною потужністю, вихідним струмом, напругою живлення, допустимою перевантажувальною здатністю та функціональними можливостями системи керування. Для електроприводу пресового механізму важливими є плавний пуск, обмеження струму, можливість роботи в режимі постійного моменту, наявність дискретних входів для команд «Пуск», «Стоп», «Аварійна зупинка», а також аналогового або цифрового завдання частоти.

$$P_{\text{ПЧ}} \geq k_{\text{з}} \cdot P_{\text{н}} = 1,10 \cdot 16 = 17,6 \text{ кВт} \quad (3.4)$$

За результатом розрахунку приймається найближче стандартне значення потужності частотного перетворювача РПЧ = 18,5 кВт. Вихідний струм перетворювача повинен бути не меншим за номінальний струм двигуна з урахуванням технологічного запасу.

$$I_{\text{ПЧ}} \geq 1,10 \cdot I_{\text{н}} = 1,10 \cdot 31,8 = 35,0 \text{ А} \quad (3.5)$$

Отже, для керування двигуном приймається частотний перетворювач на напругу 3×380 В з номінальним вихідним струмом не менше 35 А та допустимим короткочасним перевантаженням не менше 150 % протягом 60 с. Такий запас достатній для режиму пресування, у якому максимальний робочий струм становить 36,2 А, але має короткочасний характер.

Під час прямого пуску двигуна струм становить 206,7 А. При використанні частотного перетворювача пусковий струм обмежується на рівні 1,5І_н, тобто 47,7 А. Порівняння струмових режимів наведено на рисунку 3.2.

З рисунка 3.2 видно, що найбільший ефект від застосування частотного перетворювача проявляється саме у пусковому режимі. Зменшення пускового струму з 206,7 А до 47,7 А знижує навантаження на мережу живлення та підвищує ресурс комутаційної апаратури.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 3.2 - Порівняння струмових режимів електроприводу

3.4 Розроблення схеми керування електроприводом пресового механізму

Схема керування електроприводом повинна забезпечувати роботу пресового механізму у ручному та налагоджувальному режимах, виконання плавного пуску і зупинки, аварійне вимкнення, блокування повторного пуску після аварії, а також захист від перевантаження. У складі схеми передбачаються ввідний автоматичний вимикач, частотний перетворювач, асинхронний двигун, кнопковий пост керування, кінцеві вимикачі або датчики положення робочого органа, а також коло аварійного зупинення.

Логіка роботи схеми така: після подавання напруги на силове коло частотний перетворювач переходить у режим готовності. Оператор подає команду «Пуск», після чого перетворювач формує плавний розгін двигуна до заданої частоти. На ділянці робочого ходу підтримується частота, що забезпечує необхідну швидкість і момент пресування. Після завершення робочого ходу виконується зворотний хід або зниження частоти до режиму

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

очікування. При спрацюванні аварійного вимикача або захисної функції перетворювач зупиняє привід і блокує повторний пуск до усунення причини аварії.

Для підвищення надійності у схемі керування доцільно передбачити такі захисні функції: захист від перевантаження за струмом, контроль втрати фази, контроль перегрівання двигуна, обмеження мінімальної та максимальної частоти, заборону пуску при відкритому захисному огороженні та аварійне відключення з фіксацією причини спрацювання. Така побудова відповідає умовам роботи пресового механізму, де поєднуються механічні ударні навантаження, змінний момент опору та вимоги безпеки персоналу.

3.5 Розрахунок параметрів частотного регулювання електроприводу

Для пресового механізму приймається скалярне частотне керування за законом $U/f = \text{const}$. При частотах нижче номінальної такий закон дозволяє зберегти приблизно сталий магнітний потік двигуна і забезпечити достатній електромагнітний момент у робочому діапазоні швидкостей.

$$U_f = U_n \cdot f / f_n \quad (3.6)$$

де U_f - вихідна напруга частотного перетворювача при заданій частоті, В;
 $U_n = 380$ В - номінальна напруга двигуна; $f_n = 50$ Гц - номінальна частота мережі.

Для контрольних частот отримуємо такі значення вихідної напруги: при $f = 25$ Гц $U = 190$ В; при $f = 35$ Гц $U = 266$ В; при $f = 40$ Гц $U = 304$ В; при $f = 50$ Гц $U = 380$ В. Графічно характеристику U/f наведено на рисунку 3.3.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

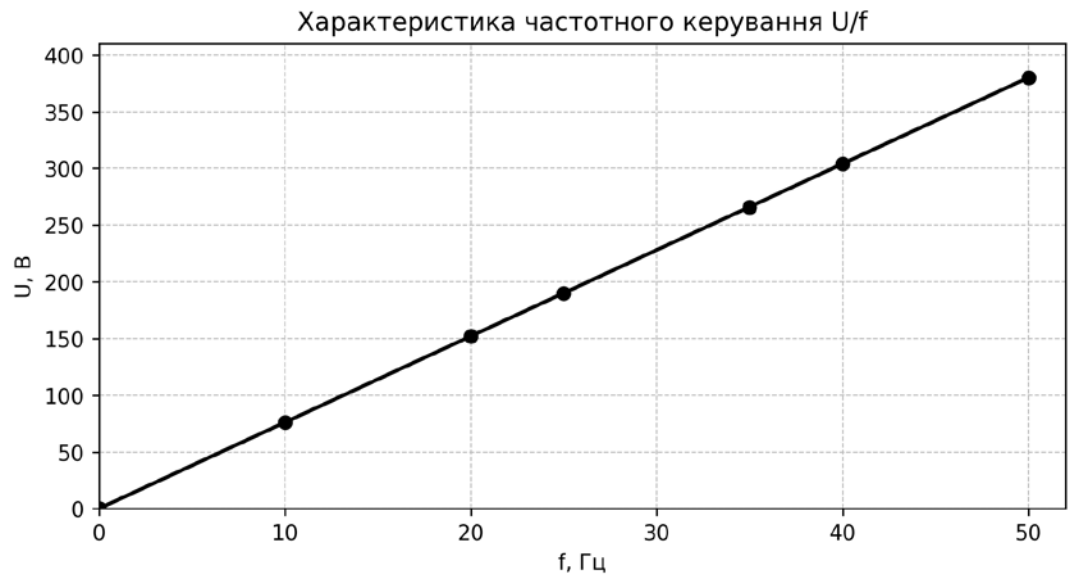


Рис. 3.3 - Характеристика частотного керування U/f

Синхронна частота обертання чотириполюсного двигуна визначається за формулою

$$n_c = 60 \cdot f / p \quad (3.7)$$

де $p = 2$ - кількість пар полюсів. Для врахування ковзання приймається, що фактична частота обертання становить

$$n = n_c \cdot (1 - s_n) \quad (3.8)$$

За номінального ковзання $s_n = 0,027$ фактична частота обертання при $f = 40$ Гц становитиме

$$n_{40} = 60 \cdot 40 / 2 \cdot (1 - 0,027) = 1168 \text{ об/хв} \quad (3.9)$$

Отже, у системі частотного керування можна обмежувати швидкість на ділянках холостого та зворотного ходу, не змінюючи конструкцію пресового механізму. Для плавного розгону приймається час розгону $t_p = 4$ с. Швидкість зміни частоти становить

$$df/dt = f_n / t_p = 50 / 4 = 12,5 \text{ Гц/с} \quad (3.10)$$

Такий темп розгону є достатньо плавним для зменшення ударних механічних навантажень і водночас не збільшує тривалість технологічного циклу преса. З урахуванням обмеження пускового струму до 47,7 А частотний пуск є безпечнішим для мережі та електродвигуна, ніж прямий пуск.

3.6 Оцінка енергоефективності запропонованої системи електроприводу

Оцінка енергоефективності виконується шляхом порівняння енергоспоживання існуючого нерегульованого електроприводу та запропонованого приводу з частотним регулюванням. За результатами підпункту 2.6 споживання електроенергії існуючим приводом за один робочий цикл становить 0,0397 кВт·год, а годинне споживання - 11,91 кВт·год.

У разі застосування частотного регулювання робочий хід пресування виконується без суттєвого зменшення механічної потужності, оскільки саме на цій ділянці потрібний основний технологічний момент. Економія досягається на ділянках розгону, зворотного ходу та технологічної паузи за рахунок зниження частоти, обмеження струму та зменшення втрат у двигуні.

$$A_{\text{ц.чп}} = (19,8 \cdot 6 + 3,7 \cdot 4 + 0,2 \cdot 2) / 3600 = 0,0372 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.11)$$

$$A_{\text{год.чп}} = A_{\text{ц.чп}} \cdot 300 = 0,0372 \cdot 300 = 11,16 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.12)$$

$$\Delta A_{\text{год}} = 11,91 - 11,16 = 0,75 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.13)$$

$$\delta = \Delta A_{\text{год}} / 11,91 \cdot 100 = 0,75 / 11,91 \cdot 100 = 6,3 \% \quad (3.14)$$

Розрахунок показує, що пряма економія електроенергії у робочому циклі становить близько 6,3 %. Додатковий ефект формується за рахунок зменшення

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пускових струмів, зниження нагрівання обмоток, зменшення ударних навантажень на механічну передачу та підвищення ресурсу комутаційної апаратури. Порівняння графіків споживаної потужності наведено на рисунку 3.4.

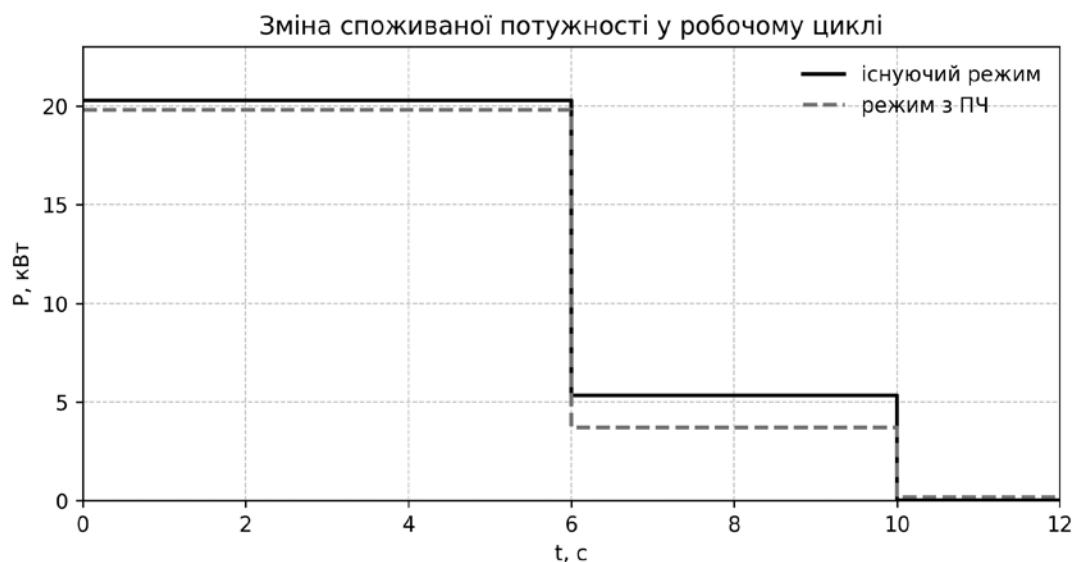


Рис. 3.4 - Порівняння споживаної електричної потужності у робочому циклі

З рисунка 3.4 видно, що найбільше навантаження зберігається на робочому ході пресування, тоді як на зворотному ході та під час паузи частотне керування дає змогу зменшити споживану потужність. Отже, запропонована структура електроприводу є технічно обґрунтованою та може бути використана як основа для техніко-економічного розрахунку в розділі 4.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНОГО РІШЕННЯ

4.1 Розрахунок капітальних витрат на впровадження електроприводу

Техніко-економічне обґрунтування виконується для оцінювання доцільності впровадження частотного регулювання електроприводу пресового механізму. У розрахунок включаються витрати на придбання частотного перетворювача, захисної та комутаційної апаратури, кабельної продукції, елементів керування, монтажні й налагоджувальні роботи. Оскільки електродвигун потужністю 16 кВт уже прийнятий за умовами роботи і має необхідний запас, його заміна не передбачається. Капітальні витрати на впровадження частотного регулювання Таблиця 4.1

Загальні капітальні витрати на впровадження проєктного рішення приймаються $K = 61000$ грн. Це значення використовується далі для визначення економічної ефективності та строку окупності.

4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат електроприводу

Основною складовою експлуатаційних витрат електроприводу є витрати на електричну енергію. Крім того, після впровадження частотного перетворювача з'являються невеликі додаткові витрати на профілактичне обслуговування системи керування. Річний фонд роботи пресового механізму приймається $T_p = 2400$ год/рік. Тариф на електричну енергію для розрахунку приймається $C_e = 7,50$ грн/кВт·год.

$$A_{\text{р. баз}} = A_{\text{год}} \cdot T_p = 11,91 \cdot 2400 = 28584 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} \quad (4.1)$$

$$A_{\text{р. чп}} = A_{\text{год. чп}} \cdot T_p = 11,16 \cdot 2400 = 26784 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} \quad (4.2)$$

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{\text{баз}} = A_{\text{р. баз}} \cdot C_e = 28584 \cdot 7,50 = 214380 \text{ грн/рік} \quad (4.3)$$

$$C_{\text{чп}} = A_{\text{р. чп}} \cdot C_e = 26784 \cdot 7,50 = 200880 \text{ грн/рік} \quad (4.4)$$

Таблиця 4.1

Капітальні витрати на впровадження частотного регулювання

Стаття витрат	Орієнтовна вартість, грн	Примітка
Частотний перетворювач 18,5 кВт	32000	основний елемент модернізації
Автоматичний вимикач, контактор, захист	7500	ввід і захист електроприводу
Пульт керування, датчики, сигнальні елементи	6000	керування і контроль
Кабельна продукція та монтажні матеріали	5500	силові та контрольні кола
Монтажні роботи	7000	встановлення обладнання
Налагодження та перевірка режимів	3000	пусконалагоджу вальні роботи
Разом	61000	капітальні витрати К

Розрахункова річна економія електроенергії становить

$$\Delta A_p = A_{\text{р. баз}} - A_{\text{р. чп}} = 28584 - 26784 \quad (4.5)$$

$$= 1800 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

$$E_e = \Delta A_p \cdot C_e = 1800 \cdot 7,50 = 13500 \text{ грн/рік} \quad (4.6)$$

Отримана економія електроенергії є прямим енергетичним ефектом. Вона не враховує зменшення витрат на ремонт, простої та заміну комутаційної

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

апаратури, які також знижуються після усунення важкого прямого пуску двигуна.

4.3 Оцінка економії електроенергії після впровадження частотного регулювання

Економія електроенергії після впровадження частотного регулювання формується за рахунок трьох основних факторів: зменшення втрат під час пуску, зниження споживаної потужності у зворотному ході та зменшення холостих втрат під час технологічної паузи. Пресовий механізм не може працювати зі значним зниженням потужності на ділянці робочого ходу, оскільки в цей момент потрібний технологічний момент пресування. Тому прийнята економія 6,3 % є помірною і технічно обґрунтованою.

Порівняння енергетичних показників наведено у таблиці 4.2.

З таблиці 4.2 видно, що прямий економічний ефект від зниження споживання електроенергії становить 13500 грн/рік. Для циклічного електроприводу преса важливо враховувати також експлуатаційний ефект від плавного пуску, оскільки саме пусковий режим створює найбільше навантаження на електричну і механічну частини обладнання

4.4 Розрахунок економічної ефективності модернізації електроприводу

Загальний річний економічний ефект від модернізації включає економію електроенергії, зниження витрат на ремонт електрообладнання і механічних вузлів, а також зменшення втрат від простоїв. Для розрахунку приймається: економія електроенергії $E_e = 13500$ грн/рік; зменшення витрат на ремонт $E_r = 12000$ грн/рік; зниження втрат від простоїв $E_p = 8000$ грн/рік; додаткові витрати на обслуговування частотного перетворювача $C_{об} = 3500$ грн/рік.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2

Розрахункові енергетичні показники електроприводу

Показник	Існуючий електропривод	Електропривод з ПЧ
Годинне споживання електроенергії, кВт·год	11,91	11,16
Річне споживання електроенергії, кВт·год	28584	26784
Річні витрати на електроенергію, грн	214380	200880
Річна економія електроенергії, кВт·год	-	1800
Пряма економія коштів, грн/рік	-	13500

$$E_p = E_e + E_r + E_p - C_{об} \quad (4.7)$$

$$E_p = 13500 + 12000 + 8000 - 3500 = 30000 \text{ грн/рік}$$

Коефіцієнт економічної ефективності визначається як відношення річного економічного ефекту до капітальних витрат:

$$E = E_p / K = 30000 / 61000 = 0,49 \quad (4.8)$$

Отримане значення показує, що за рік повертається близько 49 % вкладених коштів. Для електротехнічної модернізації виробничого обладнання такий результат є прийнятним, оскільки проєктне рішення одночасно підвищує енергоефективність, зменшує аварійність і покращує керованість технологічного процесу.

4.5 Визначення терміну окупності проєктного рішення

Термін окупності модернізації визначається як відношення капітальних витрат до річного економічного ефекту:

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{ок} = K / E_p = 61000 / 30000 = 2,03 \text{ року}$$

Отже, розрахунковий термін окупності впровадження частотного регулювання електроприводу пресового механізму становить приблизно 2 роки. Накопичений економічний ефект за перші три роки експлуатації показано на рисунку 4.1.

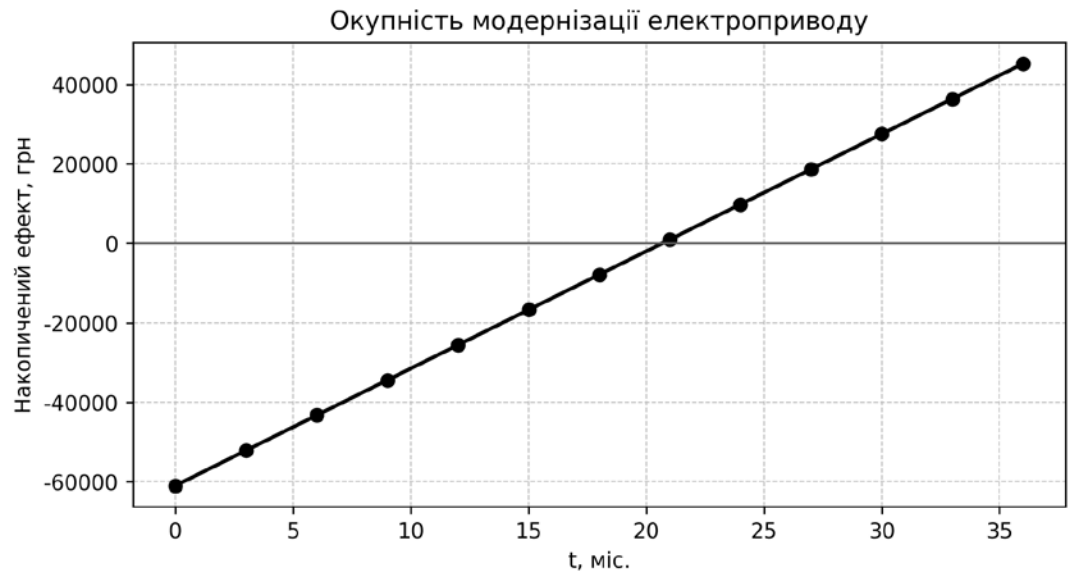


Рис. 4.1. Накопичений економічний ефект від модернізації електроприводу

Як видно з рисунка 4.1, перехід накопиченого ефекту у додатну область відбувається приблизно після другого року експлуатації. Після завершення строку окупності модернізований електропривод забезпечує чистий економічний ефект, а також підвищує технологічну надійність роботи пресового механізму.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при роботі пресового механізму

Експлуатація пресового механізму з асинхронним електроприводом потужністю 16 кВт супроводжується дією електричних, механічних, гідравлічних, теплових і пожежонебезпечних факторів. Пресовий механізм працює від трифазної мережі напругою 0,4 кВ, тому основною небезпекою є ураження електричним струмом під час пошкодження ізоляції, дотику до струмоведучих частин, порушення цілісності захисного провідника або неправильного виконання ремонтних операцій.

Особливість розробленого електроприводу полягає у використанні частотного перетворювача, силової комутаційної апаратури, захисних пристроїв, електродвигуна та кіл керування. На відміну від звичайної схеми прямого пуску, частотно-регульований привод містить ланку постійного струму з накопичувальними конденсаторами, тому небезпека зберігається певний час навіть після вимкнення живлення. Перед відкриванням шафи керування потрібно витримати час розряду конденсаторів, перевірити відсутність напруги та виконати організаційні заходи безпеки.

До механічних небезпечних факторів належать рух робочого органа преса, затискання заготовки, можливість раптового опускання плунжера, дія рухомих елементів гідравлічного приводу та передавальних ланок. У робочій зоні преса можуть виникати значні зусилля, тому порушення правил обслуговування призводить до травмування рук, пошкодження інструмента або руйнування заготовки. Для усунення цих факторів передбачаються механічні огороження, аварійна кнопка зупинки, блокування відкривання захисних

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кожухів і заборона перебування персоналу в небезпечній зоні під час руху робочого органу.

Додатково враховуються шум, вібрація, нагрівання корпусу електродвигуна, можливе витікання гідравлічної рідини, запиленість і недостатня освітленість робочої зони. Частотне регулювання зменшує ударні пускові навантаження та знижує рівень механічних коливань, однак потребує правильного налаштування захистів, електромагнітної сумісності, заземлення екранів кабелів і дотримання вимог електробезпеки.

Таблиця 5.1

Небезпечні та шкідливі фактори під час роботи пресового механізму

Фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки	Основні заходи захисту
Електрична напруга 0,4 кВ	Електродвигун, частотний перетворювач, шафа керування	Ураження електричним струмом, опіки, аварійне вимкнення	Заземлення, автоматичне відключення, блокування, перевірка відсутності напруги
Рухомі частини преса	Плунжер, стіл, виконавчий механізм	Затискання, механічні травми	Огородження, дворучне керування, аварійна зупинка, попереджувальні написи
Підвищений тиск гідросистеми	Насос, гідроциліндр, трубопроводи	Розрив рукавів, витік рідини, травмування	Контроль тиску, справність запобіжних клапанів, огляд з'єднань
Шум і вібрація	Електродвигун, насос, механічна передача	Втома персоналу, зниження уваги, прискорене зношування	Частотне регулювання, технічне обслуговування, контроль кріплень
Пожежна безпека	Кабелі, електрошафа, гідравлічна рідина	Загоряння ізоляції, пошкодження обладнання	Захист від КЗ, правильний вибір кабелів, вогнегасники, чистота робочої зони

Таким чином, безпечна експлуатація пресового механізму повинна базуватися на одночасному контролі електричної частини, гідравлічного обладнання та механічної зони пресування. Особливу увагу слід приділяти діям

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

персоналу під час налагодження, технічного обслуговування та перевірки частотного електроприводу.

5.2 Вимоги електробезпеки при експлуатації асинхронного електроприводу

Асинхронний електропривод пресового механізму живиться від трифазної мережі змінного струму напругою 380 В. Відповідно до вимог безпечної експлуатації електроустановок, роботи з електродвигуном, частотним перетворювачем, автоматичними вимикачами, пусковою апаратурою і колами керування можуть виконувати лише працівники, які мають відповідну групу з електробезпеки, пройшли інструктаж і допущені до обслуговування електрообладнання.

Для розробленого електроприводу обов'язковими є захисне заземлення металевих корпусів, підключення РЕ-провідника до електродвигуна, шафи керування, частотного перетворювача та інших металевих частин, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції. Захисне відключення повинно забезпечувати вимкнення аварійної ділянки за час, який не створює небезпеки для персоналу.

Умова автоматичного відключення живлення в мережі з глухозаземленою нейтраллю може бути записана у вигляді:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0 \quad (5.1)$$

де Z_s - повний опір петлі «фаза-нуль», Ом; I_a - струм спрацювання захисного апарата, А; U_0 - фазна напруга мережі, В.

Для електроприводу потужністю 16 кВт номінальний струм двигуна становить $I_n = 31,8$ А. Як захисний апарат для силового кола доцільно прийняти автоматичний вимикач з номінальним струмом 40 А та електромагнітним розчіплювачем, що спрацьовує при струмі короткого

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

замикання. Для перевірки приймається струм спрацювання миттєвого розчіплювача $I_a = 400 \text{ А}$, а фазна напруга $U_0 = 220 \text{ В}$. Тоді допустимий опір петлі становить:

$$Z_{s.\text{доп}} = U_0 / I_a = 220 / 400 = 0,55 \text{ Ом} \quad (5.2)$$

Якщо за результатами вимірювання опір петлі «фаза-нуль» не перевищує $0,55 \text{ Ом}$, умова автоматичного відключення виконується. Для виробничої ділянки з короткою кабельною лінією до електроприводу така умова є досяжною за умови справності РЕ-провідника та надійних контактних з'єднань.

Перевірка термічної стійкості захисного провідника виконується за виразом:

$$S_{PE} \geq I_k \cdot \sqrt{t} / k \quad (5.3)$$

де S_{PE} - мінімальний переріз захисного провідника, мм^2 ; I_k - очікуваний струм короткого замикання, А ; t - час вимкнення захисного апарата, с ; k - коефіцієнт матеріалу провідника.

Для мідного РЕ-провідника з полімерною ізоляцією приймається $k = 115$. При очікуваному струмі короткого замикання $I_k = 1000 \text{ А}$ і часі вимкнення $t = 0,2 \text{ с}$ маємо:

$$S_{PE} \geq 1000 \cdot \sqrt{0,2} / 115 = 3,9 \text{ мм}^2 \quad (5.4)$$

Отже, прийняття мідного захисного провідника перерізом 6 мм^2 забезпечує необхідний запас за термічною стійкістю. Крім цього, перед введенням електроприводу в експлуатацію необхідно перевірити цілісність захисного провідника, опір ізоляції кабелів, правильність підключення фаз, справність аварійної кнопки зупинки та наявність маркування всіх кіл керування.

5.3 Захист електроприводу від аварійних режимів роботи

Надійність і безпека роботи пресового механізму значною мірою залежать від правильної побудови системи захисту електроприводу. Аварійні режими можуть бути зумовлені коротким замиканням, перевантаженням,

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заклинюванням механізму, перекосом або втратою фази, зниженням напруги, перегріванням електродвигуна, несправністю частотного перетворювача або перевищенням тиску в гідравлічній системі.

Таблиця 5.2

Основні електробезпекові вимоги до електроприводу преса

Елемент електроприводу	Вимога безпеки	Контроль під час експлуатації
Електродвигун 16 кВт	Корпус заземлюється, кабель підключається через захисний апарат	Перевірка нагрівання, струму, вібрації, стану затискачів
Частотний перетворювач	Наявність РЕ-підключення, заборона відкривання до розряду DC-ланки	Контроль індикації, помилок, вентиляції, чистоти шафи
Силовий кабель	Переріз відповідає струму навантаження, ізоляція без пошкоджень	Огляд оболонки, вимірювання опору ізоляції
Шафа керування	Дверцята зачинені, апаратура промаркована, є попереджувальні знаки	Перевірка кріплення, чистоти, температури елементів
Кнопка аварійної зупинки	Має забезпечувати негайне вимкнення приводу	Функціональна перевірка перед початком роботи

У другому розділі встановлено, що при прямому пуску пусковий струм двигуна становить 206,7 А, тоді як при використанні частотного перетворювача він може бути обмежений до 47,7 А. Це істотно зменшує електродинамічні навантаження, однак не скасовує необхідності встановлення струмового, теплового, аварійного і програмного захисту. Захист повинен бути налаштований так, щоб не вимикати привод під час короткочасного робочого перевантаження, але надійно спрацьовувати при затяжному перевантаженні або заклинюванні механізму.

Уставка електронного теплового захисту частотного перетворювача приймається за номінальним струмом двигуна:

$$I_{\text{уст}} = I_{\text{н}} = 31,8 \text{ А} \quad (5.5)$$

Для короткочасного перевантаження в режимі робочого ходу допускається струм, близький до максимального розрахованого робочого струму $I_{\text{мах}} = 36,2 \text{ А}$. Відносне перевищення номінального струму становить:

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_I = I_{\max} / I_n = 36,2 / 31,8 = 1,14 \quad (5.6)$$

Отже, струм робочого ходу перевищує номінальне значення приблизно на 14 %, що є допустимим для короткочасного режиму. Для аварійного струмового захисту доцільно встановити граничне значення не нижче пускового струму при частотному регулюванні, але нижче струму прямого пуску. Приймається струмова уставка обмеження $I_{обм} = 1,5I_n = 47,7 \text{ А}$, що узгоджується з розрахунками електроприводу.

Таблиця 5.3

Аварійні режими та способи захисту електроприводу

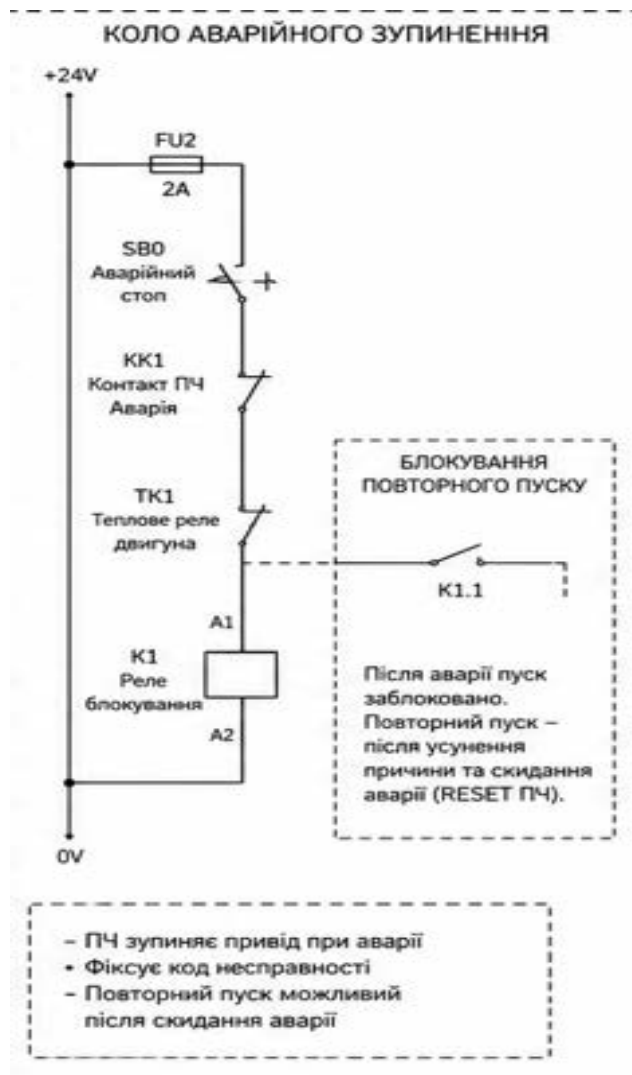
Аварійний режим	Ознака виникнення	Засіб захисту	Рекомендована дія
Коротке замикання	Різке зростання струму	Автоматичний вимикач, захист ПЧ	Негайне вимкнення та перевірка ізоляції
Перевантаження двигуна	Струм понад допустимий час	Електронний тепловий захист ПЧ	Зупинка, перевірка механізму і гідросистеми
Заклинювання преса	Зростання струму і відсутність руху	Струмове обмеження, аварійна зупинка	Зняття навантаження, механічний огляд
Втрата або перекіс фази	Нерівномірність струмів, помилка ПЧ	Контроль фаз, аварійне вимкнення	Перевірка мережі та контактів
Перегрівання двигуна або ПЧ	Перевищення температури	Тепловий захист, вентиляція шафи	Охолодження, чистка фільтрів, перевірка режиму
Перевищення тиску гідросистеми	Підвищення тиску за манометром	Запобіжний клапан, блокування руху	Зупинка та перевірка гідравлічної частини

Для підвищення надійності захисту у схемі керування необхідно передбачити взаємне блокування команд «Пуск», «Реверс», «Робочий хід» і «Аварійна зупинка». При спрацюванні аварійної кнопки частотний перетворювач повинен знімати вихідну напругу з двигуна, а гідросистема повинна переходити у безпечний стан без самовільного переміщення робочого органа.

Захист електроприводу від аварійних режимів має бути комплексним. Він повинен поєднувати електричні апарати захисту, програмні функції частотного

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перетворювача, механічні огороження, гідравлічні запобіжні клапани та організаційні заходи безпеки під час обслуговування.



5.4 Пожежна безпека виробничого приміщення

Пожежна безпека виробничого приміщення, у якому встановлено пресовий механізм, залежить від стану електрообладнання, кабельних ліній, гідравлічної системи, чистоти робочої зони та дотримання правил експлуатації. Джерелами займання можуть бути коротке замикання, перегрівання контактних з'єднань, іскріння під час пошкодження комутаційної апаратури, перегрівання електродвигуна, несправність вентиляції шафи частотного перетворювача, а також потрапляння мастила або пилу на нагріті поверхні.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для зменшення пожежної небезпеки необхідно забезпечити правильний вибір перерізу кабелів, установлення автоматичних вимикачів з відповідною вимикальною здатністю, періодичну перевірку затягування контактних з'єднань, очищення електрошафи від пилу, справність вентиляційних отворів частотного перетворювача та недопущення зберігання горючих матеріалів біля електроприводу.

Пожежне навантаження ділянки формується переважно за рахунок кабельної ізоляції, гідравлічної рідини, мастильних матеріалів, пакувальної тари та забрудненого промасленого ганчір'я. З цієї причини у приміщенні повинні бути передбачені первинні засоби пожежогасіння, зокрема вуглекислотні або порошкові вогнегасники, які допускається застосовувати для гасіння електрообладнання.

Орієнтовна кількість вогнегасників приймається з урахуванням площі виробничого приміщення, пожежного навантаження та наявності електрообладнання. Для ділянки з пресовим механізмом доцільно передбачити не менше двох переносних вогнегасників: один вуглекислотний для електрошаф і частотного перетворювача та один порошковий для гасіння загорянь твердих матеріалів або мастил.

Крім технічних засобів, важливим є організаційний порядок пожежної безпеки. Персонал повинен знати розташування вимикача аварійного знеструмлення, засобів пожежогасіння, шляхів евакуації та правила дій у разі загоряння. Під час пожежі забороняється гасити електрообладнання водою до повного знеструмлення.

5.5 Заходи безпечного обслуговування пресового механізму

Безпечне обслуговування пресового механізму повинно виконуватися за затвердженим регламентом. Перед початком роботи оператор проводить зовнішній огляд електроприводу, перевіряє справність огорожень, аварійної

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кнопки зупинки, відсутність витікання гідравлічної рідини, наявність заземлення та нормальний стан індикації частотного перетворювача. Робота преса допускається лише за справних захисних пристроїв.

Під час технічного обслуговування електроприводу необхідно вимкнути живлення, заблокувати можливість випадкового ввімкнення, вивісити попереджувальний плакат, перевірити відсутність напруги на вводі та виході частотного перетворювача, дочекатися розряду конденсаторів DC-ланки та за потреби виконати заземлення відключених частин. Налагодження параметрів частотного перетворювача дозволяється виконувати лише підготовленому персоналу.

Особливо небезпечними є роботи, пов'язані з перебуванням у зоні руху робочого органа преса. Перед оглядом або ремонтом механічної частини потрібно зняти тиск у гідросистемі, зафіксувати робочий орган у безпечному положенні, вимкнути електропривод і заблокувати органи керування. Забороняється виконувати регулювання або очищення інструмента при працюючому приводі.

Таблиця 5.4

Заходи безпечного обслуговування пресового механізму

Етап обслуговування	Основні дії персоналу	Очікуваний результат
Перед пуском	Огляд преса, перевірка аварійної кнопки, заземлення, відсутності сторонніх предметів	Готовність обладнання до безпечної роботи
Під час роботи	Контроль шуму, струму, нагрівання, тиску, відсутності витоків	Своєчасне виявлення відхилень режиму
Планове ТО	Знеструмлення, блокування пуску, перевірка відсутності напруги, огляд контактів	Безпечне виконання робіт без ризику самовільного пуску
Ремонт гідросистеми	Скидання тиску, фіксація робочого органа, перевірка рукавів і ущільнень	Запобігання травмуванню від тиску та руху механізму
Налагодження ПЧ	Робота тільки підготовленого персоналу, контроль параметрів, обмеження струму і частоти	Коректна й безпечна робота частотно-регульованого приводу

Працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту: спецодяг, захисне взуття, рукавиці, окуляри, а при роботах з електричними колами - діелектричні рукавиці, інструмент з ізольованими ручками та покажчик напруги. Після завершення технічного обслуговування необхідно відновити всі захисні кожухи, перевірити працездатність блокувань і виконати пробний пуск без навантаження.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено технічні рішення щодо створення енергозберігаючого електроприводу пресового механізму на базі асинхронного двигуна потужністю 16 кВт. Робота спрямована на зменшення пускових струмів, підвищення плавності роботи механізму, зниження енергоспоживання та покращення експлуатаційної надійності приводу.

У першому розділі проаналізовано пресові механізми та існуючі системи електроприводу. Встановлено, що пресове обладнання працює у циклічному режимі з різкозмінним навантаженням. Найбільше навантаження виникає під час робочого ходу, тоді як підготовчі, холості та допоміжні операції не потребують повної потужності двигуна. Це створює передумови для застосування регульованого енергозберігаючого електроприводу.

У другому розділі виконано розрахунок параметрів електроприводу пресового механізму. Для асинхронного двигуна потужністю 16 кВт визначено номінальний момент $M_n = 104,7 \text{ Н}\cdot\text{м}$, еквівалентний момент навантаження $M_{екв} = 86,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$ і максимальний момент у робочому ході $M_{max} = 119,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Перевірка показала, що коефіцієнт завантаження за тепловим станом становить 0,82, а використана частка допустимого короткочасного моменту - 0,57. Отже, двигун відповідає умовам роботи пресового механізму.

Розрахунок струмових режимів показав, що при прямому пуску пусковий струм становить 206,7 А, що створює значне навантаження на мережу та апаратуру керування. При застосуванні частотного перетворювача пусковий струм може бути обмежений до 47,7 А, тобто зменшується приблизно у 4,3 рази. Максимальний робочий струм у фазі пресування становить 36,2 А, а еквівалентний робочий струм за цикл - 26,2 А.

Аналіз енергоспоживання робочого циклу показав, що електроенергія, спожита за один цикл, становить 0,0397 кВт·год, середня потужність електроприводу у циклі - 11,91 кВт, а коефіцієнт використання встановленої

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потужності - 0,67. Це підтверджує, що електропривод значну частину часу працює з неповним завантаженням, тому регулювання швидкості двигуна є технічно доцільним.

У третьому розділі розроблено енергозберігаючу структуру електроприводу з частотним перетворювачем. Обґрунтовано вибір асинхронного двигуна потужністю 16 кВт та частотного перетворювача на 18,5 кВт. Запропонована система забезпечує плавний пуск, обмеження струму, регулювання швидкості у фазах робочого і зворотного ходу, зменшення механічних ударів та покращення теплового режиму електродвигуна.

У четвертому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування модернізації. Капітальні витрати на впровадження частотного регулювання становлять 61000 грн. Річне споживання електроенергії існуючим електроприводом становить 28584 кВт·год, а після впровадження частотного регулювання - 26784 кВт·год. Пряма економія електроенергії дорівнює 1800 кВт·год/рік або 13500 грн/рік. З урахуванням зменшення ремонтних витрат і простоїв загальний річний економічний ефект становить 30000 грн, а термін окупності - 2,03 року.

У п'ятому розділі розроблено заходи з охорони праці та безпеки експлуатації електроприводу. Визначено небезпечні фактори, пов'язані з електричною напругою, рухомими частинами преса, високим тиском гідросистеми, пожежною небезпекою та обслуговуванням частотного перетворювача. Виконано розрахункову перевірку умови автоматичного відключення і термічної стійкості захисного провідника, що підтвердило достатність прийнятих технічних рішень.

Отже, запропонована модернізація електроприводу пресового механізму є технічно та економічно обґрунтованою. Вона забезпечує зменшення пускових струмів, економію електроенергії, плавніший технологічний процес і безпечнішу експлуатацію обладнання.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок : наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 № 476. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0476732-17>
2. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів : наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 09.01.1998 № 4. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0093-98>
3. Про затвердження Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів : наказ Міністерства палива та енергетики України від 25.07.2006 № 258. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1143-06>
4. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 № 1417. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0252-15>
5. Про енергетичну ефективність : Закон України від 21.10.2021 № 1818-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1818-20>
6. Про енергозбереження : Закон України від 01.07.1994 № 74/94-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/74/94-%D0%B2%D1%80>
7. ДСТУ EN 60204-1:2019. Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88634
8. ДСТУ EN 60034-30-1:2022. Машини електричні обертові. Частина 30-1. Класи ефективності двигунів змінного струму, що працюють від мережі (код ІЕ). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102757
9. ДСТУ EN 61800-5-1:2015. Системи силового електроприводу з регульованою швидкістю. Частина 5-1. Вимоги щодо електричної, теплової та енергетичної безпечності. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=74404

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. ДСТУ EN 61140:2019. Захист від ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=74419
11. ДСТУ EN 61439-1:2016. Устаткування розподілення та керування комплектне низьковольтне. Частина 1. Загальні правила. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71791
12. ДСТУ EN 60529:2018. Ступені захисту, забезпечувані кожухами (код IP). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=81152
13. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020.
URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=90178
14. ДСТУ ISO 50006:2016. Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання рівня досягнутої/досяжної енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. Загальні положення та настанова. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64377
15. Колб А. А. Теорія електроприводу : навч. посіб. Дніпро : Національний гірничий університет, 2011. 540 с.
URL: <https://elprivod.nmu.org.ua/ua/student/disciplines/tep/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%B1%20%D0%A2%D0%95%D0%9F%202011.pdf>
16. Матвійчук В. А. Електропривод виробничих машин і механізмів : навч. посіб. Вінниця : ВНАУ, 2016.
URL: <https://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/10097.pdf>
17. Лавріненко Ю. М., Марченко О. С., Савченко П. І., Синявський О. Ю. Електропривод : підручник. Київ : Ліра-К, 2009. 504 с.
URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2016/Lavrin_2009_504.pdf

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

18. Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода : навч. посіб. Київ : Кондор, 2005. 408 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/Zakladniy_2005_408.pdf
19. Закладний О. М. Електропривод : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/56294/1/Elektropryvod.pdf>
20. Красношاپка Н. Д. Автоматизований електропривод. Розділ 1. Теорія електропривода : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. URL: <https://ela.kpi.ua/items/0d4ea828-349e-4aa0-9050-ca2b21c29ff9>
21. Видмиш А. А., Бабій С. М., Петрусь В. В. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1 : навч. посіб. Вінниця : ВНАУ, 2020. 387 с. URL: <https://repository.vsau.org/getfile.php/25015.pdf>
22. Голодний І. М. Регульований електропривод : підручник. Біла Церква : БНАУ, 2015. URL: <https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/5614/1/Pidruchnuk%20Golodnyi%20Ivan.pdf>
23. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О. Частотне керування асинхронним приводом : метод. вказівки. Ніжин, 2011. 98 с. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u132/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%BA%D0%B0_%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%B5%20%D0%BA%D0%B5%D1%80%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%B0%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%85%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D0%BC%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BC.pdf
24. Павленко Т. П., Донець О. В., Петренко О. М. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018.

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

URL: <https://eprints.kname.edu.ua/49990/1/2017%20%D0%BF%D0%B5%D1%87.%20114%D0%9B%20%D0%90%D0%95%D0%9F.pdf>

25. Воскобойник В. Е. Основы электропривода виробничих машин та комплексів : навч. посіб. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2021.

URL: <https://elprivod.nmu.org.ua/files/automaticED/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8%20%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B0%2029.01.2021.pdf>

26. CosmosPress. CMH-S Series Down-stroke Frame Type Hydraulic Press : technical parameters. URL: <https://en.cosmos-ml.com/cmh-s-series-frame-type-down-stroke-hydraulic-press/>

27. Khan Q. S. Design and Manufacturing of Hydraulic Presses. Volume 1: Introduction to Hydraulic Presses. URL: <https://www.btpco.com/download/training/Hydraulic%20Presses/Volume%201-Introduction-to-Hydraulic-Presses.pdf>

28. Yan X. An energy-saving method to reduce the installed power of hydraulic press machines. Journal of Cleaner Production. 2019. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619320396>

29. ABB. Technical guide No. 4. Guide to variable speed drives. Helsinki : ABB, 2011. URL: https://library.e.abb.com/public/a209d9dc29b24b789e0650b8de9c3f22/TechnicalGuideBook_EN_3AFE64514482_RevI.pdf

					02.02- КР.2607«С».2026.12.15.028.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		