

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри,
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій
(назва кафедри)
_____ ктн., доцент Окушко О.В.
(підпис)
„_____” _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: _____
Підвищення енергоефективності електротехнологічного обладнання у
цеху з вироблення соняшникової олії

Спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка"

02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 005 ПЗ

Гарант освітньої програми

Кандидат технічних наук Доцент ,
(науковий ступінь та вчене звання) _____
(Підпис)

Синявський О.Ю.
(ПІБ)

Керівник

Доктор технічних наук, Професор.
(науковий ступінь та вчене звання) _____
(Підпис)

Чміль А.І.
(ПІБ)

Виконав

(Підпис)

Швед А.А.
(ПІБ студента)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

електротехніки, _____ електромеханіки _____ та
електротехнологій
(назва кафедри)

_____ ктн., доцент Окушко О.В.
(підпис)

„_____” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Шведу Андрію Анатолійовичу

Спеціальність (напрямок підготовки): 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: Підвищення енергоефективності електротехнологічного обладнання у цеху з вироблення соняшникової олії

затверджена наказом ректора НУБіП України від "07" 11. 2025 р. № 2708 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру "_____" _____ р.

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: принципова та апаратно-технологічна схеми виробництва соняшникової олії, параметри мережі живлення 10/0,4 кВ, потужність короткого замикання РТП (43 МВА), параметри технологічного процесу лінії фільтрації олії, енергоефективні електродвигуни класу IE3, промисловий контролер ADAM-8000, частотно-регульований привод, LED-освітлення.

Перелік питань, які потрібно вирішити: Аналіз технологічного процесу виробництва соняшникової олії та вибір енергоефективного електрообладнання. Розрахунок параметрів силової та освітлювальної мереж цеху. Проектування системи зовнішнього електропостачання та вибір трансформаторної підстанції. Огляд методів фільтрації та вибір технологічного обладнання лінії очищення олії. Розробка функціональної схеми автоматизації процесу фільтрації. Дослідження економічної ефективності модернізації та розробка заходів з охорони праці.

Перелік додаткових матеріалів: презентація, графічна частина

Дата видачі завдання: _____

Керівник роботи

Доктор технічних наук, Професор.
(науковий ступінь та вчене звання)

(Підпис)

Чміль А.І.
(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання

(Підпис)

Швед А.А.
(ПІБ студента)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота присвячена питанням комплексної модернізації електротехнічного комплексу та автоматизації ліній фільтрації цеху з виробництва соняшникової олії. У роботі обґрунтовано вибір енергоефективних електродвигунів преміум-класу IE3 та сучасної апаратури захисту, що дозволяє значно знизити технологічні втрати енергії та підвищити надійність приводів. Розроблено схему зовнішнього електропостачання з використанням герметичного трансформатора ТМГ-160 та самоутримних ізольованих проводів СП-4, що забезпечує стабільну якість напруги при загальних річних втратах у мережі на рівні 10,6%. Особливу увагу приділено побудові системи автоматизації на базі контролера ADAM-8000 та впровадженню частотного регулювання насосних агрегатів, яке дозволяє скоротити їхнє енергоспоживання майже вдвічі. Економічні розрахунки підтверджують високу ефективність запропонованих заходів, зокрема термін окупності модернізованої системи освітлення становить лише 3,36 року.

Ключові слова: *електрифікація, автоматизація, енергоефективність, двигуни IE3, частотно-регульований привод, соняшникова олія.*

ABSTRACT

The diploma thesis focuses on the comprehensive modernization of the electrotechnical complex and the automation of filtration lines in a sunflower oil production shop. The study justifies the selection of premium IE3 class energy-efficient electric motors and modern protective equipment, which significantly reduces technological energy losses and increases drive reliability. An external power supply scheme was developed using a TMG-160 hermetic transformer and SIP-4 self-supporting insulated wires, ensuring stable voltage quality with total annual network losses at 10.6%. Particular attention is paid to the construction of an automation system based on the ADAM-8000 controller and the implementation of frequency-controlled drives for pumping units, which reduces their energy consumption by almost half. Economic calculations confirm the high efficiency of the proposed measures; specifically, the payback period for the modernized lighting system is only 3.36 years.

Keywords: *electrification, automation, energy efficiency, IE3 motors, frequency-controlled drive, sunflower oil.*

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	3
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРИФІКОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	8
1.1. Аналіз технологічного процесу та вибір електрообладнання для виробництва олії.....	8
1.2. Вибір електроприводів з урахуванням вимог енергоефективності	13
1.3. Вибір апаратури керування і захисту з урахуванням вимог енергозбереження	19
1.4. Розрахунок силової електропроводки та вибір кабельних ліній	22
1.5. Розрахунок освітлювальної мережі та заходи з енергозбереження в системі освітлення	25
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПИТАНЬ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ	29
2.1 Вихідні дані для розрахунку.....	29
2.2 Розрахунок проводів ПЛ-0,4 кВ з урахуванням критеріїв енергоефективності.....	30
2.3 Вибір трансформаторної підстанції з урахуванням мінімізації експлуатаційних витрат	32
2.4 Перевірка мережі напругою 0,38 кВ за умовами пуску двигунів та критеріями якості напруги.....	35

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ			
Зм.	Арк..	№ документа	Підпис	Дата	Зміст			
Розробив		Швед А.А.						
Перевірив		Чміль А.І.						
Н. Контр.		Коробський В.В.						
Затв..		Окушко О.В.			НУБіП України			
					Літера			
					Аркуш			
					Аркушів			
					5			
					99			

2.5	Перевірка мережі 0,38 кВ за умовами спрацювання захисних апаратів при однофазних коротких замиканнях.....	39
2.6	Розрахунок втрат електроенергії в електричній мережі напругою 0,38 кВ 41	
2.7.	Вибір та обґрунтування засобів компенсації реактивної потужності	43
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЛІНІЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ОЛІЇ		46
3.1	Аналіз передових досягнень виробництва і фільтрації олії.....	46
3.2	Розрахунок і вибір технологічного обладнання	59
3.3	Автоматизація процесу фільтрації олії як засіб підвищення енергоефективності.....	66
3.4.	Забезпечення електромагнітної сумісності обладнання автоматизації.....	83
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....		87
4.1.	Аналіз умов праці та ідентифікація шкідливих виробничих факторів	87
4.2.	Електробезпека при експлуатації електрообладнання	87
4.3.	Виробнича санітарія та нормалізація мікроклімату	88
4.4.	Пожежна та вибухова безпека	89
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....		90
5.1.	Економічне обґрунтування модернізації системи освітлення	90
5.2.	Додаткові фактори економічної вигоди	91
5.3	Оцінка вартості життєвого циклу обладнання	93
ВИСНОВКИ		96
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....		98

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Агропромисловий комплекс, і зокрема олієжирове виробництво традиційно займає провідні позиції в агропромисловому секторі України, орієнтуючись як на внутрішній ринок, так і на експорт. Останнім часом малі та середні фермерські господарства все частіше запускають власні цехи. Це дозволяє мінімізувати витрати на логістику та залишати побічні продукти для потреб тваринництва, підвищуючи загальну рентабельність.

Технологічний цикл виготовлення соняшникової олії включає низку енергоємних стадій: очищення, сушіння, обрушення насіння, вологотеплову обробку мезги у жаровнях та безпосередньо віджим у шнекових пресах. Для забезпечення цих процесів задіюється велика кількість електротехнологічного обладнання — потужні електродвигуни пресів, насосні установки, системи вентиляції, транспортери та нагрівальні елементи. Враховуючи постійне зростання вартості енергоносіїв, рентабельність виробництва олії сьогодні напряду залежить від кількості кіловат-годин, витрачених на кожну тонну готової продукції. Багато діючих підприємств експлуатують морально застаріле обладнання з низьким коефіцієнтом корисної дії та відсутністю сучасних засобів регулювання, що призводить до невиправданих втрат електроенергії.

У зв'язку з цим ключовим вектором розвитку переробних підприємств стає комплексне зниження енергоспоживання. Пріоритетними завданнями є модернізація електроприводів, впровадження систем автоматизованого керування технологічними процесами (АСУТП), застосування частотного регулювання та оптимізація режимів роботи силового обладнання.

Саме тому дослідження шляхів підвищення енергоефективності електротехнічного комплексу цеху з вироблення соняшникової олії є надзвичайно актуальним завданням, вирішення якого дозволить суттєво знизити собівартість продукції та підвищити загальну конкурентоспроможність підприємства.

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРИФІКОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1. Аналіз технологічного процесу та вибір електрообладнання для виробництва олії

Сучасне промислове виробництво соняшникової олії являє собою складний багатостадійний технологічний процес, який характеризується високим рівнем механізації та, як наслідок, значним споживанням електричної і теплової енергії. Залежно від потужності підприємства та вимог до кінцевого продукту, вилучення олії з насіння здійснюється двома основними методами: механічним пресуванням та хімічною екстракцією, або ж їх доцільною комбінацією. Механічне віджимання реалізується на спеціальних шнекових пресах і буває холодним або гарячим, тобто з попередньою вологотепловою обробкою сировини. Екстракційний метод є більш глибоким технологічним рішенням, проте він базується на використанні органічних розчинників і потребує безперервної роботи потужних насосних, вентиляційних та дистиляційних установок.

Незалежно від обраного методу, принципова технологічна схема переробки соняшнику складається з чіткої послідовності етапів: від підготовки сировини до рафінації готового харчового або технічного продукту. Ці базові стадії наочно відображені на принциповій технологічній схемі (рис. 1.1).

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.1 – Принципова технологічна схема виробництва соняшникової олії

Для безпосередньої реалізації наведених на блок-схемі етапів задіюється цілий комплекс машин та апаратів. Апаратно-технологічна схема виробництва, що представлена на рис. 1.2, демонструє рух сировини через основне електротехнологічне обладнання типового цеху.

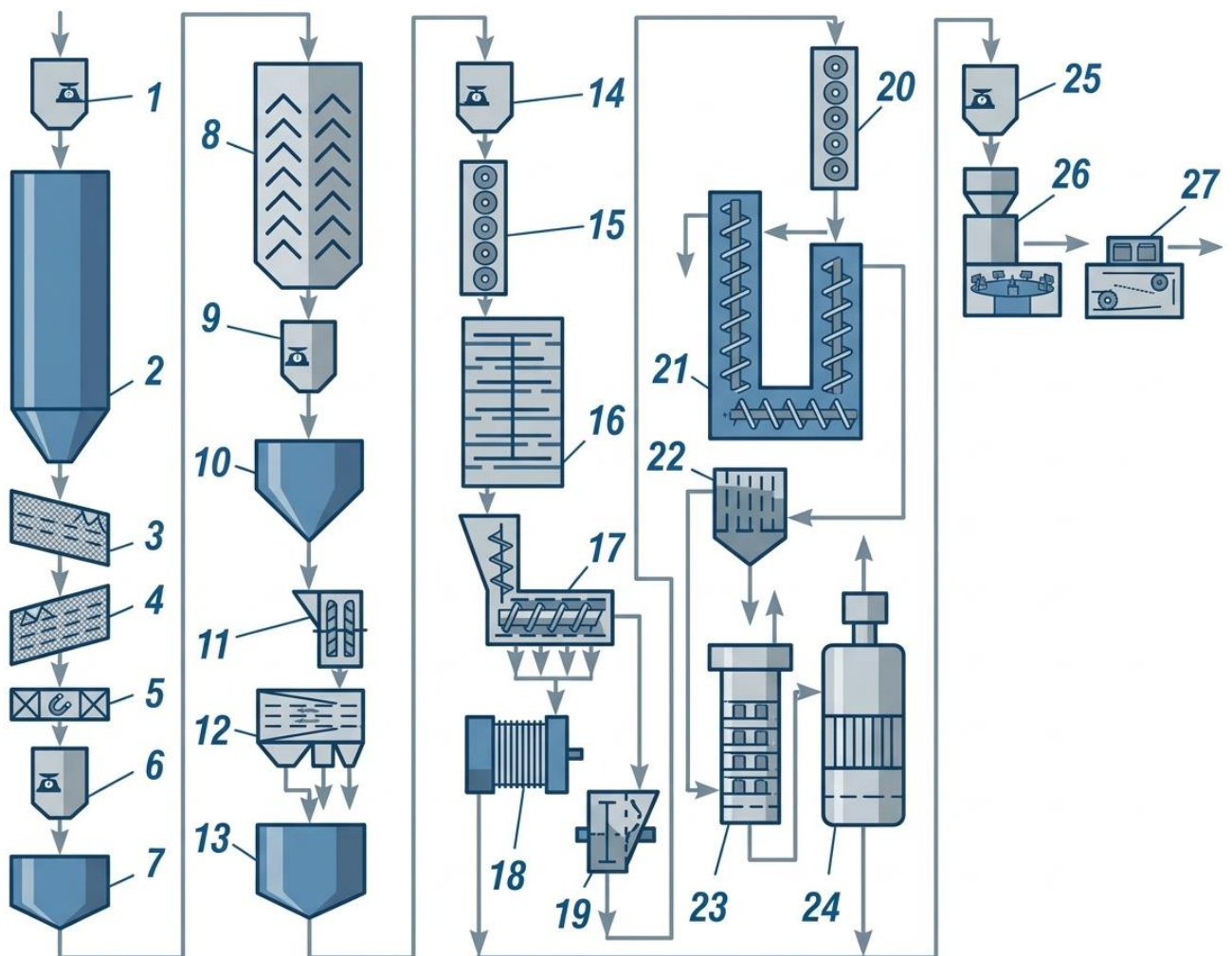


Рис. 1.2 – Апаратно-технологічна схема виробництва соняшникової олії:

1, 6, 9, 14, 25 – ваги; 2 – силос; 3, 4 – ситові сепаратори; 5 – магнітний уловлювач; 7, 10, 13 – бункера; 8 – шахтна сушарка; 11 – обрушувальна машина; 12 – повітряно-ситова сортувальна машина; 15 – п'ятивальцьовий верстат; 16 – жаровня; 17 – шнековий прес; 18 – фільтр-прес; 19 – молоткова дробарка; 20 – плющильний верстат; 21 – екстракційний апарат; 22 – відстійник; 23 – попередній дистилятор; 24 – залишковий дистилятор; 26 – розливно-укупорочний автомат; 27 – автомат для укладання пляшок в ящики.

Початковою стадією переробки є підготовка сировини. Зважене насіння з силосу (2) проходить дворазове очищення від сміттєвих домішок на ситових сепараторах (3, 4) та магнітному уловлювачі (5), після чого направляється в шахтну або барабанну сушарку (8) для зниження вологості до технологічної норми. З точки зору електроспоживання, на цьому етапі основними приймачами електричної енергії є асинхронні двигуни норій, стрічкових і шнекових транспортерів, а також потужні дуттьові вентилятори і димососи сушарок. Варто зазначити, що робота вентиляційних установок часто відбувається з незмінною

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкістю та механічним регулюванням заслінками, що створює значний потенціал для енергозбереження завдяки впровадженню частотно-регульованого приводу (ЧРП).

Далі висушене насіння транспортується до обрушувальної машини (11), де відбувається руйнування оболонки. Отримана суміш (рушанка) розділяється на ядро та лущиння за допомогою повітряно-ситової сортувальної машини (12). Електроприводи сепараторів та аспіраційних систем на цій ділянці працюють у тривалому режимі з постійним навантаженням. Очищене ядро подається на п'ятивальцьовий верстат (15), де воно подрібнюється до стану «м'ятки», яка згодом зволожується та нагрівається у багаточанній жаровні (16). Робота вальцьових верстатів пов'язана зі значними механічними зусиллями, що вимагає використання електродвигунів з високими пусковими та перевантажувальними здатностями. Жаровні, у свою чергу, оснащені мотор-редукторами для постійного перемішування в'язкої маси, навантаження на які динамічно змінюється залежно від вологості сировини.

Наступним кроком оброблена мезга подається на шнековий прес (17), де під високим тиском відділяється пресова олія, що згодом очищається від механічних домішок у фільтр-пресі (18). Головний привод шнекового преса є одним із найбільш енергоємних механізмів усього підприємства. Навантаження на його валу має яскраво виражений пульсуючий характер.

Якщо на виробництві передбачена стадія екстракції, макуха подрібнюється в дробарці (19) та вальцьовому верстаті (20), після чого направляється в екстракційний апарат (21). Утворена суміш олії та розчинника проходить попередній (23) та залишковий (24) дистилятори. Ця ділянка характеризується розгалуженою мережею перекачувальних насосів та компресорного обладнання. Керування гідродинамічними процесами тут часто відбувається шляхом неефективного дросельного регулювання потоків рідини.

Аналіз наведеної апаратно-технологічної схеми та режимів роботи устаткування свідчить про те, що основний парк електрообладнання цеху складається з асинхронних електродвигунів загальнопромислового виконання.

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Традиційні методи керування цим обладнанням (прямий пуск від мережі, відсутність регулювання продуктивності насосів і вентиляторів) призводять до невиправданих втрат електроенергії та зниження загального коефіцієнта корисної дії системи. Відповідно, підвищення енергоефективності цеху потребує детального розрахунку навантажень та обґрунтованої модернізації ключових електроприводів, що буде розглянуто в наступних підрозділах роботи.

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Вибір електроприводів з урахуванням вимог енергоефективності

Обґрунтування вибору технологічного обладнання та його приводів з позиції енергоефективності доцільно розглянути на прикладі насосної установки для перекачування олії. Традиційно на підприємствах олієжирової галузі продуктивність перекачування рідких продуктів регулюється механічними засувками (дроселюванням), що призводить до значних і постійних втрат електроенергії. Альтернативним і сучасним рішенням є застосування системи керованого частотного електропривода, що дозволяє оптимізувати роботу насоса. Розрахунок необхідної механічної потужності приводного двигуна насоса здійснюється за базовим гідравлічним рівнянням:

$$P_{\text{нас}} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{\text{нас}} \cdot Q_{\text{нас}}}{\eta_{\text{нас}}} \quad (1.1)$$

де ρ – густина перекачуваного середовища (з урахуванням технологічних домішок приймаємо $\rho = 1.23 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$); g – прискорення вільного падіння ($g = 9.81 \text{ м/с}^2$); $H_{\text{нас}}$ – необхідний номінальний напір насоса ($H_{\text{нас}} = 20 \text{ м}$); $Q_{\text{нас}}$ – розрахункова об'ємна подача насоса ($Q_{\text{нас}} = 8 \text{ м}^3/\text{год}$, що становить $0.0022 \text{ м}^3/\text{с}$); $\eta_{\text{нас}}$ – коефіцієнт корисної дії насосної установки ($\eta_{\text{нас}} = 0.53$).

Підставивши вихідні дані у формулу, отримуємо розрахункову механічну потужність на валу насоса $P_{\text{нас}} = 1 \text{ кВт}$.

Для забезпечення надійної роботи установки з урахуванням можливих технологічних перевантажень необхідно обрати електродвигун із найближчою більшою стандартною потужністю 1.5 кВт. Зважаючи на завдання даного кваліфікаційного проєкту щодо підвищення енергоефективності, використання стандартних загальнопромислових двигунів зі стандартним (IE1) або підвищеним (IE2) класом ефективності є недоцільним. Замість них приймається рішення про встановлення сучасного електродвигуна преміум-класу енергоефективності **IE3**. Застосування двигуна стандарту IE3 дозволяє значно знизити електричні та магнітні втрати у статорі й роторі, зменшити нагрів

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

обмоток, а також подовжити термін експлуатації ізоляції при роботі від частотного перетворювача.

Для підтвердження доцільності впровадження частотно-регульованого приводу (ЧРП) необхідно розрахувати механічну характеристику робочої машини. Відцентрові насоси відносяться до механізмів з вентиляторним (параболічним) характером навантаження, залежність моменту статичного опору яких від кутової швидкості описується рівнянням:

$$M_c = M_o + (M_{сн} - M_o) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^2 \quad (1.2)$$

де M_c – момент статичних опорів при поточній швидкості, Н·м; M_o – початковий момент опору рухомих частин ($M_o = 0.05 \cdot M_{сн}$); $M_{сн}$ – момент статичних опорів при номінальній кутовій швидкості, Н·м; ω та ω_H – поточне і номінальне значення кутової швидкості відповідно, с⁻¹.

Номінальна кутова швидкість обертання двигуна визначається за виразом:

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} \quad (1.3)$$

де n_H – номінальна частота обертання ротора обраного електродвигуна ($n_H = 2800$ об/хв). Відповідно, номінальна кутова швидкість становить $\omega_H = 293.215$ с⁻¹.

Момент статичних опорів при номінальній кутовій швидкості розраховується з урахуванням потужності на валу:

$$M_{сн} = 9550 \cdot \frac{P_{нас}}{n_H} \quad (1.4)$$

Значення базових моментів для побудови характеристики становлять: $M_{сн} = \text{Н} \cdot \text{м}$; $M_o = 0.05 \cdot 3.411 = 0.17$ Н·м. Підставивши ці значення в загальне рівняння, отримуємо робочу формулу для визначення статичного моменту насоса в усьому діапазоні швидкостей:

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_c = 0.171 + 3.24 \cdot \left(\frac{\omega}{293.215} \right)^2 \quad (1.5)$$

Задаючись значеннями кутової швидкості ω в діапазоні від 0 до 300 с⁻¹, розрахуємо відповідні значення моменту статичних опорів. Отримані дані зведено до таблиці 1.1. Аналіз цих даних підтверджує, що при зниженні продуктивності насоса (зменшенні кутової швидкості) споживана потужність падає у кубічній залежності, що робить використання частотного перетворювача економічно виправданим.

Таблиця 1.1

Механічна характеристика насоса

ω , с ⁻¹	0	50	100	150	200	250	293.21 5	300
M_c , Н·м	0.17	0.26	0.55	1.00	1.68	2.53	3.411	3.56

Для привода насосної установки остаточно обираємо асинхронний електродвигун закритого виконання АИР80А2У2 (або його сучасний аналог серії 1LE) з підтвердженим класом енергоефективності IE3. Його номінальні технічні характеристики наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

**Технічна характеристика енергоефективного електродвигуна АИР80А2У2
(Клас IE3)**

Параметр	Значення
Номінальна напруга, В	380, 3 фази
Номінальна потужність, кВт	1.5
Синхронна частота обертання, об/хв	3000
Номінальна частота обертання, об/хв	2840
Коефіцієнт корисної дії (ККД), %	85.8
Коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$)	0.84
Маса, кг	14.2

Побудову механічної характеристики електродвигуна виконуємо за характерними точками:

- з урахуванням допустимого відхилення моментів

1. $\omega_0 = 314 \text{ с}^{-1}$; $M' = 0$.
2. $\omega_H = 298,3 \text{ с}^{-1}$; $M_H' = 5,026 \text{ Н} \cdot \text{м}$.
3. $\omega_K = 141,3 \text{ с}^{-1}$; $M_K' = 0,9 \cdot 11,058 = 9,96 \text{ Н} \cdot \text{м}$.
4. $\omega_{\min} = 62,8 \text{ с}^{-1}$; $M_{\min}' = 0,8 \cdot 7,54 = 6,44 \text{ Н} \cdot \text{м}$.
5. $\omega_{\Pi} = 0 \text{ с}^{-1}$; $M_{\Pi}' = 0,85 \cdot 10,56 = 8,98 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

- з урахуванням допустимого відхилення напруги $\Delta U = -5\%$

1. $\omega_0 = 314 \text{ с}^{-1}$; $M'' = 0$.
2. $\omega_H = 298,3 \text{ с}^{-1}$; $M_H'' = 0,95^2 \cdot 5,026 = 4,53 \text{ Н} \cdot \text{м}$.
3. $\omega_K = 141,3 \text{ с}^{-1}$; $M_K'' = 0,95^2 \cdot 9,96 = 8,97 \text{ Н} \cdot \text{м}$.
4. $\omega_{\min} = 62,8 \text{ с}^{-1}$; $M_{\min}'' = 0,95^2 \cdot 6,44 = 5,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$.
5. $\omega_{\Pi} = 0 \text{ с}^{-1}$; $M_{\Pi}'' = 0,95^2 \cdot 8,98 = 8,08 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Будуємо механічну характеристику двигуна і насоса і визначаємо їх співвідношення (рис. 2.1)

Для визначення часу пуску електродвигуна знаходимо динамічний момент

$$M_j = M_{\delta}'' - M_c \quad (1.1)$$

Інтервал швидкостей ділимо на ділянки $\Delta\omega_i$, для кожної з яких визначаємо середнє значення динамічного моменту $M_{j\text{ср}i}$ і розраховуємо приріст часу

$$\Delta t = \frac{J_{\Sigma} \cdot \Delta\omega_i}{M_{j\text{ср}}}, \quad (1.2)$$

де J_{Σ} – зведений момент інерції привода, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

$J_{\text{рот}}$ – момент інерції ротора двигуна, $J_{\text{рот}} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}$;

J_H – момент інерції насоса, $J_H = 8 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}$.

$$J_{\Sigma} = J_{\text{рот}} + J_H = 1,8 \cdot 10^{-3} + 8 \cdot 10^{-3} = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1.3)$$

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

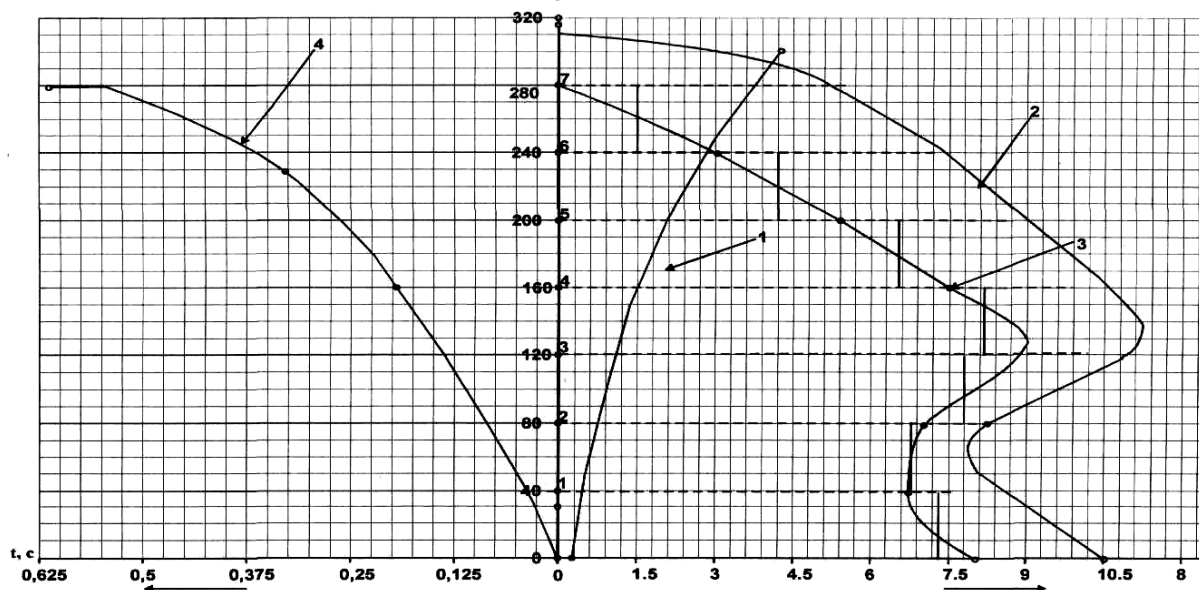


Рис. 0.1. Графічне зображення визначення часу пуску електродвигуна насоса.

1 – механічна характеристика насоса $\omega = f(M_H)$; 2 – розрахункова механічна характеристика двигуна $\omega = f(M_{ДВ})$;

3 – динамічна характеристика двигуна $\omega = f(M_{дин})$; 4 – час розгону електродвигуна $\omega = f(t)$

Визначаємо приріст часу для кожного інтервалу

$$\Delta t_1 = \frac{9,8 \cdot 10^{-3} \cdot 30}{7,3} = 0,04 \text{ с}$$

$$\Delta t_2 = \frac{9,8 \cdot 10^{-3} \cdot 30}{6,1} = 0,048 \text{ с}$$

$$\Delta t_3 = \frac{9,8 \cdot 10^{-3} \cdot 30}{5,8} = 0,051 \text{ с}$$

$$\Delta t_4 = \frac{9,8 \cdot 10^{-3} \cdot 30}{6,9} = 0,043 \text{ с}$$

$$\Delta t_5 = \frac{9,8 \cdot 10^{-3} \cdot 30}{7,8} = 0,038 \text{ с}$$

$$\Delta t_6 = \frac{9,8 \cdot 10^{-3} \cdot 30}{7,7} = 0,038 \text{ с}$$

$$\Delta t_7 = \frac{9,8 \cdot 10^{-3} \cdot 30}{6,9} = 0,043 \text{ с}$$

$$\Delta t_8 = \frac{9,8 \cdot 10^{-3} \cdot 30}{5,7} = 0,052 \text{ с}$$

$$\Delta t_9 = \frac{9,8 \cdot 10^{-3} \cdot 30}{4,2} = 0,07 \text{ с}$$

$$\Delta t_{10} = \frac{9,8 \cdot 10^{-3} \cdot 30}{1,8} = 0,163 \text{ с}$$

Час пуску електродвигуна визначається за виразом

$$t_n = \sum \Delta t_i \quad (1.4)$$

$$t_n = 0,04 + 0,048 + 0,051 + 0,043 + 0,038 + 0,038 + 0,043 + 0,052 + 0,07 + 0,0163 = 0,583 \text{ с.}$$

Графічні залежності часу розгону приведені на рис. 2.1.

Перевищення температури ел.двигуна під час пуску визначаємо за формулою:

$$\tau_n = v_t \cdot t_n, \quad (1.5)$$

де v_t – швидкість нагріву ел. двигуна, $v_t = 7,9^\circ \text{C/с}$.

$$\tau_n = v_t \cdot t_n = 7,9 \cdot 0,583 = 4,61^\circ \text{C/с}$$

Отже, $\tau_n < \tau_{\text{доп}}$.

Норми виконуються, ел. двигун не перегрівається при пуску.

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Вибір апаратури керування і захисту з урахуванням вимог енергозбереження

Для надійного захисту електричних мереж від перевантажень та струмів короткого замикання традиційно використовуються автоматичні вимикачі. Однак, враховуючи специфіку даного кваліфікаційного проєкту, спрямованого на підвищення енергоефективності електротехнологічного обладнання цеху, вибір апаратури керування та захисту базується не лише на її комутаційній здатності, але й на показниках енергоощадності.

Застарілі автоматичні вимикачі (серії ВА) та електромагнітні пускачі минулих поколінь (серії ПМЛ) характеризуються підвищеним перехідним опором контактів та значним споживанням електроенергії самими котушками керування. Тому в даному проєкті передбачається комплексна модернізація щитового обладнання з використанням сучасної елементної бази:

1. **Автоматичні вимикачі:** Замість застарілих серій приймається сучасна модульна апаратура та спеціалізовані мотор-автомати. Вони мають мінімальні теплові втрати на полюсах та забезпечують високу селективність захисту.

2. **Комутаційна апаратура:** Для прямого пуску малопотужних споживачів обираються сучасні малогабаритні контактори з котушками керування зниженого енергоспоживання.

3. **Енергоефективний пуск:** Для найбільш потужних електродвигунів цеху (головний привод преса, потужні вентилятори сушарок) замість прямого пуску через контактор передбачається використання **пристроїв плавного пуску (ППП)** та **частотно-регульованих приводів (ЧРП)**. Це дозволяє уникнути пускових ударів струму (які в 5-7 разів перевищують номінальні значення), зменшити теплові втрати в кабельних лініях та подовжити термін служби ізоляції.

Вибираємо автоматичні вимикачі за наступними класичними умовами:

$$I_{н.а} \geq I_p \quad (1.11)$$

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

де $I_{н.а}, I_p$ – номінальний і розрахунковий струм електроприймача відповідно, А.

$$I_{тр} \geq k_{тр} \cdot I_p \quad (1.12)$$

де $I_{тр}$ – струм уставки теплового розчіплювача, А; $k_{тр}$ – коефіцієнт надійності.

$$I_{емр} \geq k_{емр} \cdot I_{макс} \quad (1.13)$$

де $I_{емр}$ – струм спрацьовування електромагнітного розчіплювача, А; $k_{емр}$ – коефіцієнт надійності; $I_{макс}$ – максимальний (пусковий) струм електроприймача, А.

Розглянемо розрахунок та вибір апаратури керування і захисту на прикладі групи 1 (ЩРН-12з). Вихідні дані: $I_p = 1.52$ А; $I_{макс} = 9.77$ А; $I_{макс} > 1.52$ А.

Перевірка умов вибору:

$$I_{н.а} \geq 1.52 \text{ А};$$

$$I_{тр} \geq 1.25 \cdot 1.52 = 1.90 \text{ А};$$

$$I_{емр} \geq 1.5 \cdot 9.77 = 14.66 \text{ А}.$$

Виходячи з отриманих результатів, замість застарілого автомата серії ВА, приймаємо сучасний автоматичний вимикач захисту двигуна (наприклад, типу GV2 або еквівалентний ВА-2017) з параметрами: $I_n = 25$ А; струм уставки теплового розчіплювача $I_{тр} = 2.0$ А; $K_i = 10$; струм електромагнітного розчіплювача $I_{емр} = 20$ А. В якості пускового апарата замість традиційного ПМЛ приймаємо сучасний малогабаритний контактор з номінальним струмом 10 А.

Аналогічно проводиться розрахунок і вибір апаратури керування та захисту для інших груп електроприймачів цеху. Результати розрахунку та обрані параметри захисних апаратів занесено до таблиці 1.3.

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3

Розрахунок і вибір апаратури керування і захисту

№ гр-пи	I_p , А	$I_{макс}$, А	Тип автомата	I_n , А	$I_{тр}$, А	k_i	$I_{емр}$, А	Пусковий апарат	I_m , А
1	1,52	13,0	GV2ME07	2,5	2,0	13	32,5	Контактор LC1D09	9
2	8,55	57,0	GV2ME14	14	10,0	13	130	Контактор LC1D12	12
3	4,70	40,2	GV2ME10	6,3	5,0	13	78	Контактор LC1D09	9
4	8,10	69,5	GV2ME14	14	10,0	13	130	Контактор LC1D12	12
5	6,10	52,1	GV2ME14	14	8,0	13	104	Контактор LC1D09	9
6	3,13	26,8	GV2ME08	4,0	3,5	13	51	Контактор LC1D09	9
7	6,27	53,7	GV2ME10	6,3	6,3	13	78	Контактор LC1D09	9
8	4,87	41,7	GV2ME10	6,3	5,0	13	78	Контактор LC1D09	9
9	4,68	40,1	GV2ME10	6,3	5,0	13	78	Контактор LC1D09	9
10	2,23	19,1	GV2ME08	4,0	2,5	13	51	Контактор LC1D09	9
11	4,68	40,1	GV2ME10	6,3	5,0	13	78	Контактор LC1D09	9
Ввід	54,83	116,2	BA88-32	63	63,0	10	630	-	-

1.4. Розрахунок силової електропроводки та вибір кабельних ліній

При виборі провідників та кабельних ліній для живлення електротехнологічного обладнання цеху необхідно керуватися не лише вимогами пожежної безпеки, умовами навколишнього середовища та механічною міцністю, але й критеріями енергоефективності. Традиційний підхід до вибору перерізу базується переважно на допустимому струмі нагрівання. Проте, в рамках нашого завдання зі зниження загальних втрат електроенергії на підприємстві, доцільно застосовувати кабелі з економічно обґрунтованим перерізом. Використання мідних провідників із перерізом, що на один ступінь перевищує мінімально допустимий, дозволяє суттєво зменшити активний опір лінії, а отже, і втрати активної потужності ($\Delta P = I^2 \cdot R$) під час тривалої експлуатації обладнання.

Поперечний переріз проводів силової мережі базово перевіряється за умовою допустимого нагрівання:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p \quad (1.14)$$

де $I_{\text{доп}}$ – тривало допустимий струм для обраного типу кабелю, А; I_p – розрахунковий струм електроприймача, А.

Для розрахунку струмових навантажень попередньо визначаємо номінальний струм трифазного електроприймача за формулою:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \quad (1.15)$$

де P_n – номінальна споживана потужність, Вт; U_n – номінальна лінійна напруга мережі (380 В); $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності; η – коефіцієнт корисної дії двигуна.

Визначимо розрахунковий струм для окремого електроприймача з урахуванням режиму його роботи:

$$I_p = K_3 \cdot I_n \quad (1.16)$$

де K_3 – коефіцієнт завантаження електроприймача.

Максимальний (піковий) струм для групи електроприймачів визначається за виразом:

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{макс.гр}} = I_{\text{пуск.найб}} + K_0 \cdot \sum K_3 \cdot I_{\text{н}} \quad (1.17)$$

Зробимо розрахунок та вибір проводу на прикладі групи 1 (ЩРН-12з), що живить приводний двигун вентилятора Ц 4-70 (тип 4А71В4У3 або його сучасний енергоефективний аналог) потужністю 0.75 кВт, із показниками: ККД = 72%, $\cos \varphi = 0.73$, кратність пускового струму $i_{\text{п}} = 4.5$.

$$I_{\text{н}} = \frac{750}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.73 \cdot 0.72} = 2.17 \text{ А}$$

Коефіцієнт завантаження для даного механізму приймаємо $K_3 = 0.7$:

$$I_{\text{р}} = 2.17 \cdot 0.7 = 1.52 \text{ А}$$

$$I_{\text{макс}} = 2.17 \cdot 4.5 = 9.77 \text{ А}$$

Враховуючи вимоги енергозбереження та пожежної безпеки, проводка буде виконана мідним кабелем марки ВВГнг (що не поширює горіння) у захисних гофрованих металевих трубах, прокладених приховано. Приймаємо провід перерізом ВВГнг 4 х 2.5 мм². Тривало допустимий струм для даного перерізу при такому способі прокладання становить $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$.

Перевіряємо умову нагрівання: $19 \text{ А} \geq 1.52 \text{ А}$.

Умова виконується зі значним запасом. Такий запас по струмопровідній здатності обраний цілеспрямовано для мінімізації теплових втрат енергії в кабельних трасах цеху.

Аналогічно розраховуються струми та вибираються перерізи проводів для інших груп споживачів. Результати розрахунку зведено до таблиць 1.4 та 1.5.

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.4

Вибір проводів силової електропроводки

№ групи	Електроприймач	Марка і переріз проводу, мм ²	Спосіб прокладання
1	ЩРН-12з	ВВГнг (4 х 2,5)	У металевій гофротрубі
2	ЩРН-12з	ВВГнг (4 х 2,5)	У металевій гофротрубі
3	ЩРН-12з	ВВГнг (4 х 2,5)	У металевій гофротрубі
4	ЩРН-12з	ВВГнг (4 х 2,5)	У металевій гофротрубі
5	ЩРН-12з	ВВГнг (4 х 2,5)	У металевій гофротрубі
6	ЩРН-12з	ВВГнг (4 х 2,5)	У металевій гофротрубі
7	ЩРН-12з	ВВГнг (4 х 2,5)	У металевій гофротрубі
8	ЩРН-12з	ВВГнг (4 х 2,5)	У металевій гофротрубі
9	ЩРН-12з	ВВГнг (4 х 2,5)	У металевій гофротрубі
10	ЩРН-12з	ВВГнг (4 х 2,5)	У металевій гофротрубі
11	ЩРН-12з	ВВГнг (4 х 2,5)	У металевій гофротрубі
Ввід	Головний щит	ВВГнг (4 х 16)	На кабельних лотках

Таблиця 1.5

Електротехнічні характеристики електроприймачів

№ групи	Електроприймач	P, кВт	I _н , А	K _з	I _p , А
1	ЩРН-12з	0,75	2,17	0,7	1,52
2	ЩРН-12з	4,00	9,50	0,9	8,55
3	ЩРН-12з	3,00	6,70	0,7	4,70
4	ЩРН-12з	4,00	11,58	0,7	8,10
5	ЩРН-12з	3,00	8,68	0,7	6,10
6	ЩРН-12з	2,00	4,47	0,7	3,13
7	ЩРН-12з	4,00	8,95	0,7	6,27
8	ЩРН-12з	3,00	6,95	0,7	4,87
9	ЩРН-12з	3,00	6,68	0,7	4,68
10	ЩРН-12з	1,50	3,18	0,7	2,23
11	ЩРН-12з	3,00	6,68	0,7	4,68
Ввід	Загальне навантаження	30,85	-	-	54,83

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5. Розрахунок освітлювальної мережі та заходи з енергозбереження в системі освітлення

Система штучного освітлення промислового підприємства є одним із важливих споживачів електричної енергії, що працює в тривалому режимі. Традиційно на підприємствах олієжирової галузі для освітлення виробничих площ використовувалися газорозрядні (люмінесцентні, ДРЛ) лампи та лампи розжарювання, які характеризуються низькою світловою віддачею та швидкою деградацією світлового потоку. У рамках комплексного підвищення енергоефективності цеху з вироблення соняшникової олії, даним проєктом передбачається повна відмова від застарілих джерел світла на користь сучасних промислових світлодіодних (LED) світильників.

Перевагами світлодіодних установок є висока світлова віддача (понад 110-120 лм/Вт), відсутність стробоскопічного ефекту (що критично важливо для приміщень з обертовими механізмами, такими як вальцьові верстати та преси), а також значне зниження навантаження на освітлювальну мережу.

Розрахунок загального рівномірного освітлення основного виробничого цеху (олійниці) виконано методом коефіцієнта використання світлового потоку. Цей метод дозволяє найбільш точно підібрати кількість світильників з урахуванням відбиття світла від стін, стелі та підлоги. Потрібний сумарний світловий потік ламп розраховується за базовим світлотехнічним рівнянням:

$$F = \frac{E_n \cdot K_z \cdot S \cdot z}{\eta_{\text{сп}}} \quad (1.18)$$

де E_n – нормована мінімальна освітленість для даного типу зорових робіт, лк; K_z – коефіцієнт запасу, що враховує запиленість середовища та старіння джерел світла; S – площа приміщення, м²; z – коефіцієнт мінімальної освітленості (відношення середньої освітленості до мінімальної); $\eta_{\text{сп}}$ – коефіцієнт використання світлового потоку в частках одиниці.

Для приміщення олійниці площею $S = 190$ м² нормована освітленість приймається на рівні $E_n = 400$ лк. Враховуючи умови виробництва, приймаємо коефіцієнт запасу $K_z = 1.3$, а коефіцієнт мінімальної освітленості $z = 1.15$.

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт використання світлового потоку залежить від індексу приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття поверхонь (стелі – 50 %, стін – 30 %, підлоги – 10 %).

Індекс приміщення розраховується за формулою:

$$i = \frac{S}{h_p \cdot (A + B)} \quad (1.19)$$

де h_p – розрахункова висота підвісу світильників над робочою поверхнею, м; A і B – розміри приміщення (довжина та ширина), м.

Для висоти підвісу 7 м індекс приміщення становить:

$$i = \frac{190}{7 \cdot (19 + 10)} = 0.94$$

За довідковими даними для світильників із симетричним світлорозподілом знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta_{сп} = 46$ %. Підставивши значення у вихідну формулу, визначаємо необхідний сумарний світловий потік:

$$F = \frac{400 \cdot 1.3 \cdot 190 \cdot 1.15}{0.46} = 247000 \text{ лм}$$

Для забезпечення даного світлового потоку обираємо енергоефективні промислові пиловологозахищені світлодіодні світильники потужністю 39 Вт та номінальним світловим потоком одного світильника 4400 лм. Розрахункова кількість світильників становить 65 одиниць, що забезпечує рівномірне засвічення робочих зон при мінімальних витратах електроенергії (сумарна потужність освітлення головного цеху складе лише близько 2.5 кВт).

Розрахунок освітлення допоміжних та санітарно-побутових приміщень (щитова, душові, кімната персоналу, коридори) проводиться методом питомої потужності:

$$P = P_{уд} \cdot S \quad (1.20)$$

де $P_{уд}$ – нормована питома потужність освітлювальної установки, Вт/м²; S – площа приміщення, м².

Для допоміжних приміщень передбачається встановлення світильників типу НПП03 (або сучасних LED-аналогів ЖКГ-сфери), оснащених світлодіодними лампами потужністю 7 Вт (еквівалент лампи розжарювання 60 Вт зі світловим потоком 720 лм). Додатковим заходом з енергозбереження є впровадження

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматичного керування освітленням: у коридорах та санітарних вузлах передбачається встановлення інфрачервоних або мікрохвильових датчиків руху, що дозволить зменшити споживання електроенергії на освітлення цих зон на 40-60%.

Нормовані значення освітленості та загальні результати світлотехнічних розрахунків для всіх приміщень цеху зведено до таблиць 1.6 та 1.7.

Таблиця 1.6

Нормована освітленість в приміщеннях

№ п/п	Найменування приміщення	Висота робочої поверхні, м	Нормована освітленість (E_n), лк
1	Олійниця	0,7	400
2	Щитова	0,7	150
3	Склад електрообладнання	0,0	100
4	Санвузол	0,0	30
5	Душова	0,0	50
6	Кімната для персоналу	0,5	150
7	Коридор	0,0	100

Для рівномірного завантаження фаз трансформатора живлення, освітлювальна мережа цеху розділяється на декілька групових ліній. Попередньо для всіх груп приймається мідний кабель ВВГнг (3х1.5) з тривало допустимим струмом 20 А. Загальна встановлена потужність енергоефективної освітлювальної установки всього об'єкта становить $P_{o,y.} = 2.616$ кВт.

Таблиця 1.7
Світлотехнічна відомість

№	Найменування приміщення	Площа	Висота підвісу світильників	Коефіцієнти відбиття			Вид освітлення	Система освітлення	Норма освітленості, лк	Коефіцієнт запасу	Світильник		Лампа		Загальна потужність установки
		м²		м	Стелі	Стін					Підлоги	Тип	К - ть	Тип	
1.	Олійниця	190	7	50	30	10	Робоче освітлення	Загальне рівномірне освітлення	400	1,3	Osram DampProofLED	65	LED	39	2,535
2.	Щитова	8,25	2,5	50	30	10			150	1,3	НПП03-100-001	2	LED Philips	7	0,014
3.	Склад ел. обладнання	13,2	2,5	50	30	10			100	1,3	НПП03-100-001	2	LED Philips	7	0,014
4.	Санвузол	6	2,5	50	30	10			30	1,5	НПП03-100-001	1	LED Philips	7	0,007
5.	Душова	15	2,5	50	30	10			50	1,5	НПП03-100-001	2	LED Philips	7	0,014
6.	Кімната персоналу	10,56	2,5	50	30	10			150	1,3	НПП03-100-001	2	LED Philips	7	0,014
7.	Коридор	7,36	2,5	50	30	10			100	1,5	НПП03-100-001	1	LED Philips	7	0,007
8.	Вхідне освітлення	-	3	-	30	-			-	-	НПП03-100-003	1	LED Philips	11	0,011
Загальна потужність (P=)															2,616

02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПИТАНЬ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

2.1 Вихідні дані для розрахунку

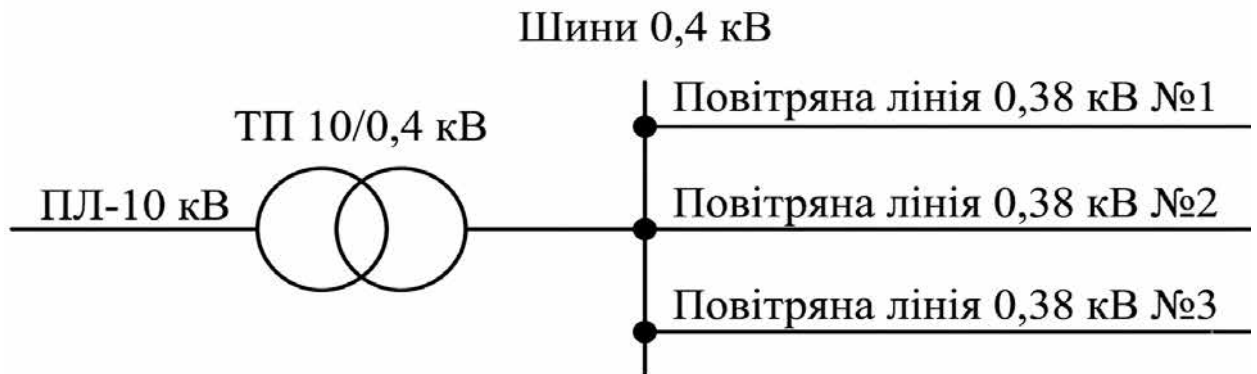


Рис. 2.1 – Схема підстанції 10/0,4 кВ

Таблиця 2.1

Вихідні дані для розрахунку

Навантаження ліній $P_{р.д.лін.} / P_{р.в.лін.}$, кВт			$P_{з.о.}$, кВт	t_n , °C	Характер навантаження	Т, год
ПЛ №1	ПЛ №2	ПЛ №3				
30,8	35,0	40,5	3,4	0	Змішане	3000
43,2	51,2	45,4				

Додаткові данні:

- Довжина ПЛ №1 = 0,5 км
- Довжина ПЛ №2 = 0,12 км
- Довжина ПЛ №3 = 0,7 км
- Потужність к.з. на шинах 10 кВ (РТП) = 43 МВА
- Відхилення напруги на шинах 10 кВ (РТП) = 3/-4 %
- Тип опор – ЗБ

2.2 Розрахунок проводів ПЛ-0,4 кВ з урахуванням критеріїв енергоефективності

Традиційний підхід до вибору перерізу проводів повітряних ліній базується виключно на допустимому струмі нагрівання. Проте, в рамках завдань з енергозбереження, переріз лінії має обиратися з урахуванням мінімізації втрат активної потужності (ΔP). Для цього доцільно використовувати самоутримні ізольовані проводи (СІП) збільшеного перерізу, що дозволяє знизити активний опір магістралі та суттєво зменшити річні втрати кіловат-годин.

Розрахунок та вибір проводу продемонструємо на прикладі найбільш навантаженої повітряної лінії ПЛ №2.

Вихідні дані для ПЛ №2:

- Максимальний потік активної потужності (у вечірній час): $P_{\text{макс}} = 51,2$ кВт.
- Коефіцієнт потужності для даного змішаного навантаження приймаємо $\cos \varphi = 0,83$.
- Номінальна лінійна напруга: $U_{\text{н}} = 0,38$ кВ.

Визначаємо розрахункову повну потужність лінії:

$$S_p = \frac{P_{\text{макс}}}{\cos \varphi} = \frac{51,2}{0,83} = 61,69 \text{ кВ} \cdot \text{А} \quad (2.1)$$

Робочий струм лінії в нормальному максимальному режимі розраховується за формулою:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} \quad (2.2)$$
$$I_p = \frac{61,69}{1,732 \cdot 0,38} = 93,73 \text{ А}$$

Мінімально допустимим перерізом для такого струму є провід СІП 4х25 (тривало допустимий струм 95 А). Однак, враховуючи необхідність зниження втрат електроенергії та забезпечення експлуатаційного запасу надійності, приймаємо економічно обґрунтоване рішення — збільшити переріз на один ступінь.

Для прокладання ПЛ-0,4 кВ приймаємо провід марки СІП-4 4х35.

Для даного перерізу тривало допустимий струм становить $I_{\text{доп}} = 115$ А.

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконаємо перевірку вибраного проводу за умовою нагрівання з урахуванням поправочного коефіцієнта на умови прокладання ($k = 0,96$):

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \cdot k \quad (2.2)$$

$$93,73 \text{ A} \leq 115 \cdot 0,96 = 110,4 \text{ A}$$

Умова надійно виконується зі значним запасом, що задовольняє вимоги ГКД 34.20.175-2002 «Вимоги до проектування повітряних ліній електропередачі напругою до 1 кВ з самоутримними ізольованими проводами».

Повітряна лінія 0,4 кВ буде виконана самоутримним ізольованим проводом СП-4, де ізоляція всіх провідників виконана з термопластичного світлостабілізованого поліетилену, що допускає тривалий нагрів струмопровідних жил до 70°C. Використання СП замість традиційних неізольованих проводів (марки А чи АС) має ряд беззаперечних переваг у контексті енергоефективності:

1. Значне зниження індуктивного опору лінії (приблизно в 2,5-3 рази), що покращує якість напруги у споживачів.
2. Відсутність втрат енергії через струми витоку на ізоляторах (особливо під час опадів).
3. Унеможливлення коротких замикань при схрещуванні проводів від вітру.

Аналогічним чином, із застосуванням принципів енергоощадності, обираються перерізи для ліній ПЛ №1 та ПЛ №3.

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Вибір трансформаторної підстанції з урахуванням мінімізації експлуатаційних витрат

Розрахункове активне навантаження (денне та вечірнє) на шинах трансформаторної підстанції (ТП) визначається з урахуванням втрат у лініях:

$$P_{р.д.ТП} = P_{р.д.лін.б} + \Sigma \Delta P_{р.в.лін.м} \quad (2.3)$$

$$P_{р.д.ТП} = 40.5 + \Delta 35 + \Delta 30.8 = 40.5 + 22.8 + 19.6 = 82.9 \text{ кВт}$$

$$P_{р.в.ТП} = P_{р.в.лін.б} + \Sigma \Delta P_{р.в.лін.м} + P_{з.о.} \quad (2.4)$$

$$P_{р.в.ТП} = 51.2 + \Delta 45.4 + \Delta 43.2 + 3.4 = 51.2 + 30.3 + 28.5 + 3.4 = 113.4 \text{ кВт}$$

За довідковою літературою визначаємо усереднені коефіцієнти потужності для споживчої ТП 10/0,4 кВ із виробничим навантаженням змішаного типу:

$$\cos \varphi_d = ; \cos \varphi_v = 0.8$$

Повна розрахункова потужність ТП для денного та вечірнього режимів:

$$S_{р.д.ТП} = \frac{P_{р.д.ТП}}{\cos \varphi_d} = \frac{82.9}{0.8} = 103.6 \text{ кВ} \cdot \text{А} \quad (2.5)$$

$$S_{р.в.ТП} = \frac{P_{р.в.ТП}}{\cos \varphi_v} = \frac{113.4}{0.83} = 136.6 \text{ кВ} \cdot \text{А} \quad (2.6)$$

Оскільки вечірнє навантаження перевищує денне ($S_{р.в.ТП} = 136.6 \text{ кВ} \cdot \text{А} > S_{р.д.ТП} = 103.6 \text{ кВ} \cdot \text{А}$), за базову розрахункову потужність приймаємо $S_{р.ТП} = 136.6 \text{ кВ} \cdot \text{А}$.

Визначимо перспективне повне навантаження, враховуючи коефіцієнт запасу ($K_p = 1.3$). Оскільки підприємство має потенціал до розвитку, впровадження нових енергоефективних технологій та підключення додаткового електрообладнання, розрахункові навантаження на шинах ТП становитимуть:

$$S_{р.д.персп} = S_{р.д.} \cdot K_p = 103.6 \cdot 1.3 = 134.68 \text{ кВ} \cdot \text{А} \quad (2.7)$$

$$S_{р.в.персп} = S_{р.в.} \cdot K_p = 136.6 \cdot 1.3 = 177.58 \text{ кВ} \cdot \text{А} \quad (2.8)$$

За розрахунками вибираємо найбільше з навантажень ($177.58 \text{ кВ} \cdot \text{А}$) для перевірки потужності джерела живлення. Для живлення споживачів цеху приймаємо комплектну трансформаторну підстанцію кіоскового типу КТПМ-

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

160/10/0,4 У1 та енергоефективний понижувальний силовий трансформатор типу ТМГ-160/10/0,4 У1.

Вибір трансформатора серії ТМГ (трансформатор масляний герметичний) обумовлений політикою енергозбереження підприємства. Завдяки повній герметичності бака та відсутності розширювача, трансформаторне масло не контактує з навколишнім повітрям. Це повністю виключає процеси окислення та зволоження масла, що своєю чергою позбавляє підприємство від необхідності проведення періодичних профілактичних ремонтів, відбору проб та регенерації масла протягом усього терміну експлуатації, суттєво знижуючи загальні експлуатаційні витрати.

Характеристики обраного трансформатора наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Паспортні дані трансформатора ТМГ-160/10/0,4 У1

Тип трансформатора	Номиналь на потужність, кВа	Напруг а, кВ		Втрати, кВт		Схема і група з'єднань обмоток	Напруг а к.з., %	Стру м х.х. від ном., %	Маса , кг
		ВН	НН	XX	КЗ				
ТМГ-160/10	160	10	0,4	0,4 4	2,7	У/У _Н -0 Δ/У _Н -11 У/З _Н -11	4,7	2,4	990



Рис. 2.2 – Зовнішній вигляд герметичного трансформатора ТМГ-160/10/0,4 У1

Перевірка номінальної потужності трансформатора за шкалою економічних інтервалів ($n=1$):

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{\text{екон.}min} \leq \frac{S_{\text{р.ТП.персп}}}{n} \leq S_{\text{екон.}max} \quad (2.9)$$

$$161 \leq \frac{177.58}{1} \leq 320$$

Коефіцієнт допустимого систематичного перевантаження трансформатора в зимовий період:

$$k_c = k_{\text{с.т.}} - \alpha \cdot (t_n - t_{\text{п.т.}}) \quad (2.10)$$

$$k_c = 1.77 - 1 \cdot 10^{-2} \cdot (0 - (-10)) = 1.67$$

Прийняту номінальну потужність трансформатора перевіряємо на умови його роботи у перспективному режимі експлуатації із допустимим систематичним перевантаженням:

$$\frac{S_{\text{р.ТП.персп}}}{n \cdot S_{\text{н.тр.}}} \leq k_c \quad (2.11)$$

$$\frac{177.58}{1 \cdot 160} = 1.11 \leq 1.67$$

Умова надійно виконується. До встановлення на підстанції 10/0,4 кВ остаточно приймаємо один силовий трансформатор потужністю $S_{\text{н.тр.}} = 160 \text{ кВ} \cdot \text{А}$.

Річне споживання електроенергії на шинах ТП при $T = 3000$ годин:

$$W_{\text{рік}} = 113.4 \cdot 3000 = 340200 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Організація комерційного та технічного обліку електроенергії:

Традиційно на подібних об'єктах встановлювалися індукційні лічильники активної енергії типу СА-4У. Однак, з метою реалізації завдань енергозбереження, в даному проєкті передбачається перехід на сучасний комерційний облік. На трансформаторній підстанції встановлюється сучасний електронний трифазний багатотарифний лічильник (наприклад, серії NIK 2303 або еквівалент), увімкнений через вимірювальні трансформатори струму. Використання електронного мікропроцесорного лічильника дозволяє не лише вести високоточний облік активної та реактивної енергії, але й інтегрувати підстанцію в систему АСКОЕ (Автоматизована система комерційного обліку електроенергії). Це забезпечує можливість переходу підприємства на диференційований за часом доби тариф, що дає значний економічний ефект при роботі обладнання у нічні зміни.

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Перевірка мережі напругою 0,38 кВ за умовами пуску двигунів та критеріями якості напруги

Одним із ключових показників енергоефективності та надійності системи електропостачання є якість електричної енергії, зокрема рівень втрат напруги в лініях. Завищені втрати напруги свідчать про високий активний опір мережі, що неминуче призводить до нагрівання провідників та непродуктивних втрат електроенергії. Крім того, при прямому пуску потужних асинхронних електродвигунів виникають значні пускові струми, які викликають короточасні глибокі посадки напруги.

Пуск найбільшого електродвигуна та нормальна робота раніше увімкнених електроприймачів будуть можливими та стійкими, якщо виконуються наступні умови:

$$\Delta U_{\text{факт.з}} \leq \Delta U_{\text{доп.з}} \quad (2.12)$$

$$\Delta U_{\text{факт.п}} \leq \Delta U_{\text{доп.п}} \quad (2.13)$$

де $\Delta U_{\text{факт.з}}$, $\Delta U_{\text{факт.п}}$ – фактичне зниження напруги на затискачах двигуна, що запускається, та тих, що вже працюють, %; $\Delta U_{\text{доп.з}}$, $\Delta U_{\text{доп.п}}$ – допустиме зниження напруги на затискачах вказаних електродвигунів, %.

Допустиме зниження напруги визначається за формулою:

$$\Delta U_{\text{доп}\%} = \left(1 - \sqrt{\frac{M_{\text{зр}} - M_{\text{над}}}{M_{\text{пуск}}}} \right) \cdot 100 \quad (2.14)$$

де $M_{\text{зр}}$ – момент зрушення робочої машини, Н·м; $M_{\text{над}}$ – необхідний надлишковий момент під час пуску (приймаємо $M_{\text{над}} = 0,3 \cdot M_{\text{н}}$), Н·м; $M_{\text{пуск}}$ – пусковий момент електродвигуна, Н·м.

Фактичне зниження напруги в мережі розраховується як сума втрат на всіх елементах кола живлення:

$$\Delta U_{\text{факт}} = \Delta U_0 + \Delta U_{\text{Т}} + \Delta U_{\text{л}} + \Delta U_{\text{ТП}} + \Delta U_{\text{Л2}} + \Delta U_{\text{ЛВ}} \quad (2.15)$$

де U_0 – відхилення напруги на шинах 10 кВ споживчої підстанції, %; $U_{\text{Т}}$ – надбавка трансформатора 10/0,4 кВ, %; $\Delta U_{\text{л}}$ – втрата напруги в лінії 0,38 кВ від пускового струму, %; $\Delta U_{\text{ТП}}$ – втрати напруги в трансформаторі від раніше

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

увімкнених навантажень, %; $\Delta U_{л2}$, $\Delta U_{лв}$ – втрати напруги від раніше увімкнених навантажень у повітряній лінії та на вводі до розподільчого щита, %.

Перевірку проводимо для найбільш потужного привода в цеху — електродвигуна типу АИР100L4У2 (або його енергоефективного аналога стандарту ІЕ3).

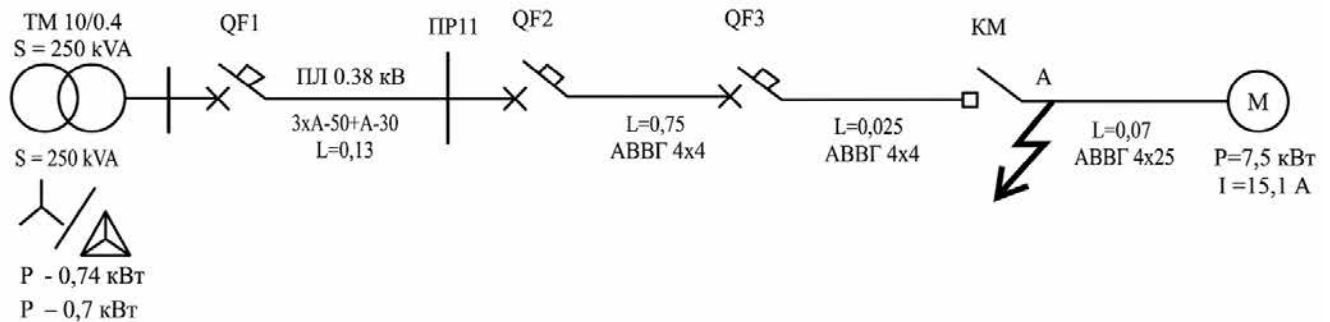


Рис. 2.3 – Розрахункова схема мережі для перевірки пуску електродвигуна

Паспортні дані електродвигуна:

$$P_H = 4 \text{ кВт}; I_H = 8,8 \text{ А}; n_H = 1500 \text{ об/хв}; \eta = 87,5; \cos \varphi = 0,86; \frac{M_{\text{п}}}{M_H} = 2,3;$$

$$\frac{M_{\text{max}}}{M_H} = 2,3; \frac{I_{\text{пуск}}}{I_H} = 7,0.$$

Визначаємо значення номінального обертового моменту на валу електродвигуна, надлишкового моменту та моменту зрушення:

$$M_H = 9550 \cdot \frac{P_H}{n_H} = 9550 \cdot \frac{4}{1500} = 25,46 \text{ Н·м} \quad (2.16)$$

$$M_{\text{над}} = 0,3 \cdot 25,46 = 7,64 \text{ Н·м}$$

Момент зрушення приймаємо $M_{\text{зр}} = 15,5 \text{ Н·м}$ (для механізмів з вентиляторним характером навантаження). Пусковий момент становить $M_{\text{пуск}} = 2,3 \cdot 25,46 = 58,5 \text{ Н·м}$.

Допустиме зниження напруги:

$$\Delta U_{\text{доп}} = \left(1 - \sqrt{\frac{15,5 - 7}{52,97}} \right) * 100 = 60\%$$

Визначаємо складові фактичного зниження напруги:

$$\Delta U_0 = 1\%;$$

$$\Delta U_T = 5 + 2,5 = 7,5\%.$$

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Втрати напруги в лінії від пускового струму двигуна:

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{z_{\text{Т}} + z_{\text{л}}}{z_{\text{Т}} + z_{\text{л}} + z_{\text{ел.дв}}} * 100 \quad (2.17)$$

де $z_{\text{Т}}$ – повний опір трансформатора; $z_{\text{ел.дв.}}$ – опір електродвигуна; $z_{\text{л}}$ – опір кабельних ліній.

$$z_{\text{Т}} = \frac{U_{\text{н}}^2 \cdot U_{\text{кз}}}{100 \cdot S_{\text{н}}} = \frac{0,38^2 \cdot 2,7 \cdot 10^{-1}}{100 \cdot 160} = 0,024 \text{ Ом} \quad (2.18)$$

Повний опір короткого замикання електродвигуна в пусковому режимі:

$$z_{\text{ел.дв.}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot k_i \cdot I_{\text{н}}} = \frac{380}{1,732 \cdot 7,0 \cdot 8,8} = 3,56 \text{ Ом} \quad (2.19)$$

Опір лінії розрахований на основі перерізів (приймаємо за даними еквівалентної схеми $z_{\text{л}} = 0,098 \text{ Ом}$). Тоді:

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{0,024+0,098}{0,024+0,098+1,91} * 100 = 6\%$$

Втрати напруги від раніше увімкненого навантаження в трансформаторі:

$$\Delta U_{\text{ТП}} = \frac{125}{160} (2,3 * 0,8 + 1,41 * 0,6) * 100 = 2,1\% \quad (2.20)$$

$$\Delta U_{\text{а}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{S_{\text{нТП}}} \cdot 100 = \frac{2,7}{160} \cdot 100 = 1,68\%$$

$$\Delta U_{\text{р}} = \sqrt{U_{\text{к.з.}}^2 - U_{\text{а}}^2} = \sqrt{4,7^2 - 1,68^2} = 4,39\%$$

$$\Delta U_{\text{ТП}} = \frac{125}{160} (2,3 * 0,8 + 1,41 * 0,6) * 100 = 2,1\%$$

$$\Delta U = \frac{10^5 * S * L(R_0 * \cos\varphi + X_0 * \sin\varphi)}{U^2} * 100 \sin \quad (2.21)$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{10^5 * 125 * 0,12(0,59 * 0,8 + 0,35 * 0,6)}{380^2} * 100 = 0,7 \%$$

Втрати напруги в самій повітряній лінії від попереднього навантаження становлять лише 0,7 %. Такий низький показник втрат досягнуто завдяки вибору самоутримного ізолюваного проводу (СП) збільшеного перерізу на етапі проєктування, що є прямим заходом з енергозбереження.

Визначаємо кінцеве сумарне зниження напруги на затискачах електродвигуна:

$$\Delta U_{\text{факт}} = 1 + 7,5 + 6 + 2,1 + 1,19 + 0,7 = 18,49$$

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta U_{\text{факт.}}\% = 1 + 7,5 + 6 + 2,1 + 1,19 + 0,7 = 18,49\%$$

Умова надійно виконується зі значним запасом. Електродвигун успішно запускається навіть при найважчому прямому пуску. Враховуючи, що в реальних умовах модернізованого цеху передбачається використання систем плавного пуску або частотних перетворювачів, фактичні посадки напруги (і відповідні втрати енергії в мережі) будуть ще меншими.

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5 Перевірка мережі 0,38 кВ за умовами спрацювання захисних апаратів при однофазних коротких замиканнях

Однофазне коротке замикання (замикання фазного провідника на нульовий захисний або на заземлений корпус обладнання) є найпоширенішим видом аварійних режимів у мережах 0,38 кВ. Оскільки струм такого замикання обмежується повним опором петлі «фаза-нуль» і є найменшим серед усіх видів КЗ, критично важливо перевірити, чи достатньо його величини для миттєвого (електромагнітного) спрацювання захисного апарата. Швидке відключення пошкодженої ділянки запобігає термічному руйнуванню ізоляції енергоефективних електродвигунів та знижує пожежну небезпеку на виробництві.

Згідно з вимогами Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), для надійного відключення аварійної ділянки автоматичним вимикачем з електромагнітним розчіплювачем повинна виконуватися умова:

$$I_{\text{к.з.}}^{(1)} \geq k_z \cdot I_{\text{емр}} \quad (2.22)$$

де $I_{\text{к.з.}}^{(1)}$ – очікуваний струм однофазного короткого замикання в кінці лінії, що захищається, А; $I_{\text{емр}}$ – струм спрацювання електромагнітного розчіплювача автоматичного вимикача, А; k_z – коефіцієнт надійності (запасу), який для сучасних автоматів приймається рівним 1,1.

Дійсний струм однофазного короткого замикання визначається за класичною формулою:

$$I_{\text{к.з.}}^{(1)} = \frac{U_{\text{н.ф.}}}{z_{\text{п}} + \frac{z_{\text{т}}}{3}} \quad (2.23)$$

де $U_{\text{н.ф.}}$ – номінальна фазна напруга мережі (220 В); $z_{\text{п}}$ – розрахунковий повний опір петлі «фаза-нуль» від трансформатора до найбільш віддаленого електродвигуна, Ом; $\frac{z_{\text{т}}}{3}$ – розрахунковий повний опір нульової послідовності однієї фази трансформатора, Ом.

Опір фази трансформатора струмові однофазного короткого замикання визначається з урахуванням його схеми з'єднання (для обраного нами ТМГ-160/10 із схемою $\Delta/\text{Ун}-11$ опір нульової послідовності є мінімальним, що покращує умови спрацювання захисту):

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{z_T}{3} = \frac{k}{S_H} \quad (2.24)$$

де S_H – номінальна потужність трансформатора (160 кВ·А); k – розрахунковий емпіричний коефіцієнт (для даної групи з'єднань $k \approx 16 \dots 26$). Приймаємо розрахункове значення опору трансформатора $\frac{z_T}{3} = 0,104$ Ом.

Розрахунок повного опору петлі «фаза-нуль» проводиться з урахуванням активних та індуктивних опорів усіх ділянок (магістральної ПЛ, кабельних ліній вводу та внутрішньої проводки цеху), а також перехідних опорів контактів:

$$z_{\Pi} = \sqrt{(\sum R_{ni})^2 + (\sum X_{ni})^2} \quad (2.25)$$

З урахуванням довжини та перерізу ліній (використання самоутримного ізолюваного проводу СІП-4 4х35 для ПЛ та мідного кабелю ВВГнг 4х2,5 для внутрішньої мережі), приведений до розрахункової температури нагріву сумарний активний та реактивний опір петлі становить $z_{\Pi} = 0,961$ Ом.

Підставляємо отримані значення у формулу струму КЗ:

$$I_{\text{к.з.}}^{(1)} = \frac{220}{0.961 + 0.104} = 206,5 \text{ А}$$

Перевірка умови спрацювання захисту:

Для захисту даного привода (найбільш віддаленого і потужного двигуна на 4 кВт) у розділі 1.3 ми обрали сучасний автоматичний вимикач захисту двигуна (мотор-автомат типу GV2ME14) з номінальним струмом $I_H = 14$ А. Струм спрацювання його електромагнітного розчіплювача становить $I_{\text{емр}} = 13 \cdot 14 = 182$ А. Перевіряємо виконання вимоги ПУЕ:

$$206,5 \text{ А} \geq 1,1 \cdot 182 \text{ А}$$

$$206,5 \text{ А} \geq 200,2 \text{ А}$$

Умова надійно виконується. Струму однофазного короткого замикання достатньо для миттєвого спрацювання електромагнітного розчіплювача сучасного автоматичного вимикача. Аварійна ділянка буде знеструмлена за долі секунди, що гарантує збереження обладнання та безпеку персоналу.

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6 Розрахунок втрат електроенергії в електричній мережі напругою 0,38 кВ

Визначення дійсних втрат електроенергії дозволяє оцінити енергоефективність прийнятих проектних рішень, зокрема вибору збільшених перерізів самоутримних ізольованих проводів (СІП) та типу силового трансформатора.

Втрати електроенергії в повітряних лініях 0,38 кВ визначаються як сума втрат на кожній відхідній ділянці мережі за формулою:

$$\Delta W_{\text{л}} = \sum (3 \cdot I_{\text{max},i}^2 \cdot R_i \cdot \tau \cdot 10^{-3}) \quad (2.26)$$

де $I_{\text{max},i}$ – максимальний робочий струм відповідної лінії, А; R_i – активний опір проводу відповідної лінії, Ом; τ – час максимальних втрат (виходячи з графіка роботи, приймаємо $\tau = 1100$ год).

Активний опір кожної лінії визначається за формулою:

$$R_i = R_0 \cdot L_i \quad (2.27)$$

де R_0 – питомий активний опір лінії, Ом/км; L_i – довжина ділянки лінії, км.

Для обраного енергоефективного проводу СІП-4 4х35 питомий опір становить $R_0 = 0,87$ Ом/км.

Розрахуємо параметри та втрати для кожної відхідної лінії:

ПЛ-1: $L_1 = 0,5$ км; $R_1 = 0,87 \cdot 0,5 = 0,435$ Ом; Розрахунковий струм $I_1 = 79,1$ А.

$$\Delta W_{\text{л1}} = 3 \cdot 79,1^2 \cdot 0,435 \cdot 1100 \cdot 10^{-3} = 8980 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

ПЛ-2: $L_2 = 0,12$ км; $R_2 = 0,87 \cdot 0,12 = 0,104$ Ом; Розрахунковий струм $I_2 = 93,7$ А.

$$\Delta W_{\text{л2}} = 3 \cdot 93,7^2 \cdot 0,104 \cdot 1100 \cdot 10^{-3} = 3012 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

ПЛ-3: $L_3 = 0,7$ км; $R_3 = 0,87 \cdot 0,7 = 0,609$ Ом; Розрахунковий струм $I_3 = 83,1$ А.

$$\Delta W_{\text{л3}} = 3 \cdot 83,1^2 \cdot 0,609 \cdot 1100 \cdot 10^{-3} = 13876 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Сумарні річні втрати електроенергії в магістральних лініях складуть:

$$\Delta W_{\text{л}} = 8980 + 3012 + 13876 = 25868 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо втрати енергії безпосередньо в силовому трансформаторі ТМГ-160/10 за формулою:

$$\Delta W_T = \Delta P_{x.x.} \cdot t + \Delta P_{k.z.} \cdot k_H^2 \cdot \tau_T \quad (2.28)$$

де $\Delta P_{x.x.}$ – втрати активної потужності в режимі холостого ходу ($\Delta P_{x.x.} = 0,44$ кВт); t – тривалість роботи трансформатора протягом року ($t = 8760$ год); $\Delta P_{k.z.}$ – втрати в режимі короткого замикання ($\Delta P_{k.z.} = 2,7$ кВт); k_H – коефіцієнт завантаження трансформатора; τ_T – тривалість максимуму втрат у трансформаторі, год.

Коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$k_H = \frac{S_{max}}{S_{ном}} = \frac{136,6}{160} = 0,85 \quad (2.29)$$

Час використання максимуму навантаження:

$$T_{max} = \frac{W_a}{P_{max}} \quad (2.30)$$

де W_a – загальне річне споживання електроенергії від підстанції ($W_a = 340200$ кВт·год); P_{max} – максимальне сумарне значення активної потужності (112 кВт).

$$T_{max} = \frac{340200}{112} = 3038 \text{ год}$$

Тривалість максимуму втрат розраховується як:

$$\tau_T = (0,124 \cdot 10^{-4} \cdot T_{max}) \cdot 8760 = (0,124 \cdot 10^{-4} \cdot 3038) \cdot 8760 = 3300 \text{ год}$$

Підставляємо дані у формулу втрат трансформатора:

$$\Delta W_T = 0,44 \cdot 8760 + 2,7 \cdot 0,85^2 \cdot 3300 = 3854,4 + 6436,6 = 10291 \text{ кВт·год/рік}$$

Загальні сумарні втрати в системі електропостачання підприємства становлять:

$$\Delta W_{\text{сум}} = \Delta W_L + \Delta W_T = 25868 + 10291 = 36159 \text{ кВт·год/рік}$$

Річні втрати електроенергії у відсотках від загального енергоспоживання:

$$\Delta W_{\%} = \frac{\Delta W_{\text{сум}}}{W_a} \cdot 100 = \frac{36159}{340200} \cdot 100 = 10,6\% \quad (2.30)$$

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7. Вибір та обґрунтування засобів компенсації реактивної потужності

Оцінка поточного стану електроспоживання цеху вказує на наявність значної частки індуктивного навантаження. Основними генераторами реактивних струмів у технологічному ланцюзі є асинхронні електродвигуни шнекових пресів, жаровень та насосних станцій перекачування олії. Специфіка їхньої роботи полягає в тому, що вони періодично функціонують із недовантаженням або в перехідних режимах, що неминуче призводить до зниження загальноцехового коефіцієнта потужності.

Циркуляція реактивної енергії між джерелом живлення (трансформатором) та кінцевими споживачами є вкрай небажаним явищем. Вона не виконує жодної корисної механічної роботи, проте завантажує кабельні магістралі, викликаючи їх додатковий нагрів, що фактично означає втрату активної потужності та марнотратство фінансових ресурсів підприємства. Щоб розвантажити живильну інфраструктуру та наблизити параметри мережі до еталонних показників, необхідно штучно компенсувати індуктивну складову безпосередньо поблизу центрів навантаження.

Аналіз режимів роботи показав, що базовий розрахунковий коефіцієнт потужності до впровадження заходів становить $\cos \phi_1 = 0,81$ (що відповідає $\operatorname{tg} \phi_1 = 0,724$). Цільовий показник, який рекомендується для сучасних промислових об'єктів та гарантує відсутність нарахувань за перетікання реактивної енергії з боку обленерго, складає $\cos \phi_2 = 0,96$ (відповідно $\operatorname{tg} \phi_2 = 0,291$).

За умови максимального розрахункового активного навантаження цеху на рівні $P_m = 120$ кВт (згідно з попередніми розрахунками), необхідну реактивну потужність генерувальної установки ($Q_{\text{ку}}$, кВАр) визначаємо за класичною залежністю:

$$Q_{\text{ку}} = P_m \cdot (\operatorname{tg} \phi_1 - \operatorname{tg} \phi_2) \quad (2.31)$$

Підставивши робочі значення, отримуємо:

$$Q_{\text{ку}} = 120 \cdot (0,724 - 0,291) = 120 \cdot 0,433 = 51,96 \text{ кВАр}$$

З огляду на те, що технологічний процес віджиму олії не є статичним (обладнання вмикається і вимикається каскадно, залежно від обсягів подачі

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

насіння), використання нерегульованих (статичних) конденсаторних батарей є технічно помилковим. Це може призвести до небезпечного явища перекомпенсації в моменти мінімальних навантажень та виникнення перенапруг на шинах 0,4 кВ.

Тому до встановлення в головному розподільному щиті цеху приймається автоматична конденсаторна установка типу АКУ-0.4-55-5У3 загальною потужністю 55 кВАр. Ця установка оснащена мікропроцесорним регулятором, який у режимі реального часу відстежує поточний зсув фаз та дискретно підключає конденсаторні ступені (з мінімальним кроком 5 кВАр). Це гарантує максимально точне дозування ємнісного струму незалежно від того, скільки пресів працює в даний момент.

Впровадження АКУ кардинально покращує топологію струморозподілу. Насамперед, відбувається розвантаження цехового силового трансформатора за повною потужністю (S , кВА). До компенсації трансформатор був завантажений на:

$$S_1 = \frac{P_m}{\cos \phi_1} = \frac{120}{0,81} = 148,1 \text{ кВА} \quad (2.32)$$

Після введення АКУ в експлуатацію повне навантаження знижується до:

$$S_2 = \frac{P_m}{\cos \phi_2} = \frac{120}{0,96} = 125,0 \text{ кВА} \quad (2.33)$$

Вивільнення понад 23 кВА трансформаторної потужності створює надійний "холодний" резерв. Це означає, що у випадку майбутньої модернізації виробництва підприємству не доведеться нести капітальні витрати на заміну трансформатора на більш потужний.

Крім того, пропорційно зростанню коефіцієнта потужності зменшується струмове навантаження на всіх магістральних кабелях від підстанції до цеху. Таке зниження сили струму має прямий економічний наслідок — квадратичне падіння втрат активної енергії на нагрів струмопровідних жил (ΔP). Відносну величину збереженої потужності можна виразити у відсотках за такою пропорцією:

$$\Delta P_{\%} = \left(1 - \left(\frac{\cos \phi_1}{\cos \phi_2}\right)^2\right) \cdot 100\% = \left(1 - \left(\frac{0,81}{0,96}\right)^2\right) \cdot 100\% \approx 28,8\% \quad (2.34)$$

Підсумовуючи, можна стверджувати, що локальна автоматична компенсація реактивної потужності виступає не просто формальною вимогою нормативних

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

документів, а високоефективним інженерним інструментом. Вона ліквідує паразитні перетікання струмів, суттєво уповільнює процеси теплового старіння ізоляції та безпосередньо зменшує технологічні втрати в мережі майже на 29%, формуючи міцний фундамент для енергоефективності всього підприємства.

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЛІНІЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ОЛІЇ

3.1 Аналіз передових досягнень виробництва і фільтрації олії

Фільтрація рослинної олії є одним з найбільш важливих процесів її виробництва, ним нерідко нехтують. Хоча сучасний ринок технологій здатний надати досить економічне рішення для підприємства будь-якого масштабу. Фільтрація рослинної олії сприяє видаленню з продукту важких жирів і механічних домішок, фосфатидів, восків, гідрофобних фракцій і мильних речовин, а також парафіну. Відсутність даних речовин в готовій продукції є важливою вимогою ГОСТів та сучасних гармонізованих стандартів. Зокрема, згідно з нормами ДСТУ 4492:2017 «Олія соняшникова. Технічні умови», жорстко регламентуються показники прозорості, кислотного та пероксидного числа, а також гранично допустима масова частка нежирових домішок та фосфоровмісних речовин. Забезпечення відповідності цим стандартам якості вимагає відмови від виключно гравітаційного відстоювання на користь глибоких стадій апаратного очищення.

Фільтрація рослинної олії являє собою багатостадійний процес, який може бути виконаний на декількох установках або включений в замкнутий цикл універсальних очисних систем. Фільтрація олії – олія перекачується в фільтр і фільтрується коржем, який перетворився в фільтрат. Товщина коржа поступово збільшується завдяки постійному осаді фузи і збільшує опір при протіканні олії і тим самим збільшення тиску або часу. Цей час автоматично закінчується.

З точки зору гідродинаміки пористих середовищ, процес фільтрації через наливний шар (корж) з високою точністю описується класичним законом Дарсі. Математична модель цього процесу базується на диференціальному рівнянні, що пов'язує вектор швидкості руху рідини з градієнтом поля тиску всередині пористого циліндра або площини. У розгорнутому інженерному вигляді для ізотропного середовища рівняння Дарсі виражається наступним чином:

$$Q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta P}{\mu \cdot L} \quad (3.1)$$

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де Q – об'ємна витрата фільтрату ($\text{м}^3/\text{с}$); k – коефіцієнт проникності пористого шару (м^2); A – площа поверхні фільтрування (м^2); ΔP – перепад тиску на фільтрувальній перегородці (Па); μ – динамічна в'язкість олії ($\text{Па}\cdot\text{с}$); L – поточна товщина осаду (м).

Аналіз наведеної математичної моделі виявляє пряму залежність енергоспоживання насосного обладнання від реологічних властивостей олії. Кінематична та динамічна в'язкість соняшникової олії має яскраво виражену експоненційну залежність від її температури. Зі збільшенням товщини осаду L та зменшенням його пористості внаслідок ефекту кольтматації (забивання пор дисперсними частинками), система змушена компенсувати зростаючий гідравлічний опір шляхом нелінійного підвищення ΔP . Це, своєю чергою, вимагає значного збільшення споживаної електричної потужності електродвигуном живильного насоса, що безпосередньо впливає на загальні втрати електроенергії в мережі 0,38 кВ, розраховані у другому розділі даної роботи.

Після первинного очищення і часткового видалення води, в новому обладнанні використовується адсорбційне очищення від пігментів, фосфатидів і мила. Для даної операції використовується спеціальний компонент – відбілювальна глина. Звісно на ринку існують вузьконаправлені установки, які призначені виключно для відбілювання олії, однак використання сорбентних патронів на багатофункціональних вакуумних установках, удосконалює процес фільтрації рослинної олії та підвищує ефективність очищення. Крім того, універсальні комплексні установки обладнані додатковим набором фільтрів, датчиків і регуляторів, завдяки яким можна контролювати фільтрацію рослинної олії. Якісний матеріал, що фільтрує сприяє проведенню фільтрації рослинної олії на високій швидкості та з тривалим циклом, які підвищують продуктивність обладнання.

Поряд із традиційним застосуванням відбілювальних глин, передові досягнення світової інженерії пропонують впровадження технологій ультрафільтрації на основі напівпроникних мембран. На відміну від класичної тупикової фільтрації, сучасні мембранні модулі працюють за принципом

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тангенціальної фільтрації. За такого підходу потік олії рухається паралельно мембрані, що фізично запобігає швидкому формуванню кольматаційного шару та зводить до мінімуму потребу у високих робочих тисках. Ультрафільтраційні мембрани з розміром пор від 0,01 до 0,1 мікрона дозволяють відокремлювати макромолекулярні сполуки, бактерії та колоїди без хімічних реагентів, що суттєво економить енергоресурси та повністю зберігає вітамінний профіль (токофероли) натуральної олії.

Згідно з проведеними випробуваннями, а також зважаючи на відгуки підприємців, для фільтрації рослинної олії найбільш раціонально використовувати не застарілі фільтри-преси вузького призначення, а обладнати підприємство технологічною лінією комплексного очищення рослинної олії. Продуктивність таких установок набагато вище, до того ж вони здатні служити для очищення будь-яких видів рідин, виробництвом яких займається підприємство. Відсутність втрат олії, простота в обслуговуванні, відповідність кінцевого продукту стандартам європейської якості сприяє популярності й поширенню універсальних установок для фільтрації рослинної олії.

Для фільтрації соняшникової олії на виробництві використовують фільтри різних конструкцій. В їх роботі використовуються два основні принципи: перекачування масла через перешкоду за допомогою тиску або за допомогою розрядження. До різновидів установок для фільтрації соняшникової олії відносять фільтри вакуумні, відцентрові, рамні, прес-фільтри та фузопастки. Велике поширення останнім часом набувають також листові фільтри. Всі установки призначені для безперервного очищення від механічних домішок рослинної олії.

Вакуумний фільтр відноситься до стадії основної фільтрації соняшникової олії. Особливості його конструкції не дозволяють очищати сильно забруднену сировину, хоча таке обладнання і відноситься до розряду найбільш ефективних і широко використовуваних на виробництві. Крім того даний тип фільтрації забезпечує безвідходне виробництво: після очищення олія подається в спеціальну місткість, а використана фільтрувальна суміш завантажується в масляний прес для віджимання або використовується як корм для тварин. Великою перевагою

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вакуумного фільтра, є його невибагливість у використанні та великий термін служби фільтрувальної тканини: близько місяця можна працювати без заміни.

Фільтри-преси працюють при низькому тиску. Фільтрація соняшникової олії відбувається через фільтрувальні бавовняно-паперові, або синтетичні (поліпропіленові та ін.) Тканини натягнуті на рамки, всередину яких під тиском подається олія, а після очищення збирається в колектор. Продуктивність подібних фільтрів безпосередньо залежить від розмірів рамок, їх кількості, тиску, під яким подається олія, кількості нежирових домішок в олії та температури.

Еволюційним удосконаленням класичних рамних фільтрів є сучасні мембранні фільтр-преси. Їх ключова технологічна відмінність полягає в наявності інтегрованої еластичної мембрани, яка дозволяє здійснювати вторинне гідромеханічне віджимання осаду (коржа) після завершення основного циклу фільтрації. Шляхом подачі стисненого повітря або води під мембрану, остання розширюється і фізично вичавлює залишкову олію з макухи. Цей процес підвищує загальну ефективність сепарації до 99%, значно знижує вологість осаду та скорочує час робочого циклу. Мембранні фільтр-преси здатні витримувати робочий тиск до 25 бар, що на 20% перевищує гідравлічні межі звичайних камерних плит.

Дана таблиця демонструє технологічні та експлуатаційні переваги мембранних систем очищення порівняно з класичними рамними рішеннями.

Таблиця 3.1

Порівняльна характеристика мембранних та традиційних рамних фільтр-пресів.

Параметр порівняння	Мембранні фільтр-преси	Традиційні рамні фільтри
Ефективність фільтрації	До 99% видалення дрібних частинок	Типово близько 90%
Робочий тиск	До 25 бар (підвищена толерантність)	До 20 бар (стандартний тиск)
Вологість коржа	Мінімальна (завдяки вторинному віджиму)	Висока (відсутність вторинного стиснення)
Періодичність ТО	Кожні 6 місяців	Щомісяця
Термін експлуатації	5 – 7 років	3 – 5 років

Фузопастки можуть використовуватися й автономно для первинної фільтрації соняшникової олії. Такі фільтри попереднього очищення часто вбудовані в конструкцію преса для віджимання олії. Фузопастка являє собою решітку вібросита з отворами 160-200 мікрон, через яку під тиском відбувається поділ олії та фуза. Олія просочується крізь сито, а фуз ковзає уздовж поверхні сита, потрапляючи в приймальний лоток, і направляється на дожимання. Застосування будь-якої із зазначених установок для фільтрації соняшникової олії дозволяє зменшити кількість нежирових домішок безпосередньо перед основним очищенням і знизити втрати олії.

Сучасні емпіричні дослідження вказують на те, що комплексна оптимізація технологічних параметрів (температури, тиску, рівня подрібнення та тривалості фільтрації) в комбінації з використанням вискоєфективного обладнання здатна підвищити загальну енергоефективність підприємства на 34%. На передових промислових об'єктах питомі витрати електроенергії вдається довести до жорстких цільових показників на рівні 12–15 кВт·год на тонну переробленого насіння, одночасно знижуючи викиди CO₂ на 3–4 кг/т.

В даний час в міні-цехах колективних і фермерських господарств широко поширена спрощена технологія отримання рослинної олії(соняшникової, ріпакової, соєвої та ін.), Що базується на простому і недорогому обладнанні. Однак ця технологія не охоплює в себе наступне очищення олії, доводячи його якість до показників по ГОСТ 1129-93 "Соняшникова олія. Технічні умови" за вмістом механічних домішок і канцерогенних речовин. Для отримання високоякісної харчової олії її необхідно максимально очистити від супутніх речовин, тобто механічних домішок, фосфатидів, восків, мильних речовин і гідрофобних фракцій.

Цей процес можна реалізувати за розробленою в університеті технології на базі фізичних методів за допомогою спеціальних відцентрових апаратів, використанням гідратаційного способу очищення фосфатидного концентрату і бельтинг-фільтрації одно- та двоосновних ненасичених жирних кислот і мікрофільтрації олії. Як правило, олія, отримана в міні-цехах на олієпресовому обладнанні холодним або термічним способом, проходить первинне грубе

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

очищення через марлеві або сітчасті фільтри. Потім олія проходить очищення від механічних домішок у відцентровому полі за допомогою спеціальних апаратів. Після того як масло звільниться від механічних включень діаметром до 5 мкм, масло з більш низьким тиском подається на бельтинг-фільтр.

Наступний етап очищення олії – виділення фосфоровмісних гідратованих агрегатів за допомогою методу гідратації. У місткість, де проходило очищення олії від механічних домішок, доливають воду для відстоювання. Після того як олія розділилася на чисту олію і міцелярний осад, олію... до 0,3-0,5 мкм. Фільтрування мікрофільтром проводять до полного звільнення олії від механічних домішок. Циркуляція олії в блоці мікрофільтрів здійснюється насосною станцією. Для очищення блоків мікрофільтрів використовується стиснене повітря, в зворотному потоці подається компресором під тиском 0,4 МПа. До складу входять: щит керування, насос для зливу концентрату, накопичувальна місткість, мастилопроводи, запірна арматура, датчик тиску. Блок мікрофільтрації має функціональний зв'язок з олієочисною установкою через мережу трубопроводів із запірною арматурою.

Узагальнюючи результати, отримані в лабораторних і виробничих умовах, можна зробити висновок, що реалізація технології доочистки рослинної олії із застосуванням гідрокоагулятора і мембранних керамічних блок-фільтрів дозволяє добитися не тільки глибокого вилучення фосфатидів і механічних домішок, а й отримати соняшникову олію вищого ґатунку. Воно може бути використано як для безпосереднього вживання в їжу, так і у вигляді базового продукту для ефективного здійснення процесів нейтралізації вільних жирних кислот і дезодорації олії.

Фільтрація рослинної олії холодного віджиму

У світі періодично виникає інтерес до виробництва рослинної олії з насіння без попереднього нагрівання й обрушення, для простоти будемо називати таку олію олією «холодного» віджиму. У більшості випадків така олія йде на такі цілі: виробництво біодизеля, використання в якості харчової «ароматної» олії, а також у виробництві косметики.

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні особливості виробництва олії холодного віджимання: Віджимання і фільтрація відбуваються при порівняно низьких температурах і без попереднього нагрівання насіння, олія на фільтрацію надходить при 30-40 оС, на відміну від 70-80 оС для «гарячого» віджиму. Продуктивність фільтрувальної установки набагато нижче – до 30 кг/м² на годину проти до 130-180 кг/м² на годину для олії «гарячого» віджиму. Найкраще йде фільтрація олії першого віджиму, в олії другого віджиму міститься більше дрібних частинок, що істотно знижує швидкість фільтрації.

Знижена температура перекачуваного середовища неминує зумовлює зростання кінематичної в'язкості олії. Відповідно до базових принципів гідродинаміки, підтримка стабільного ламінарного потоку через пористе середовище за таких умов потребує значно більшого напору, що висуває жорсткіші вимоги до механічних характеристик фільтрувальних перегородок та енергетичних показників електродвигунів насосних агрегатів. Рослинна олія холодного віджиму зазвичай фільтрується у дві або три стадії, що йдуть послідовно. Для харчових цілей зазвичай досить перших 2-х ступенів фільтрації, однак для косметики та біодизеля потрібно додати полірувальну фільтрацію, через те, що така олія не повинна містити частинок понад 1 мікрон. Для забезпечення необхідної якості олії «холодного» віджиму використовується послідовна триступенева система фільтрації:

1. Основна фільтрація на наливних фільтрах видаляє тверді домішки з олії.
2. Контрольна фільтрація оберігає фільтроване масло від попадання домішок і каламуті в разі збою в процесі основної фільтрації.
3. Полірувальна фільтрація на картриджних фільтрах видаляє найдрібніші частинки (понад 1 мікрона).

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основна фільтрація на наливних фільтрах.

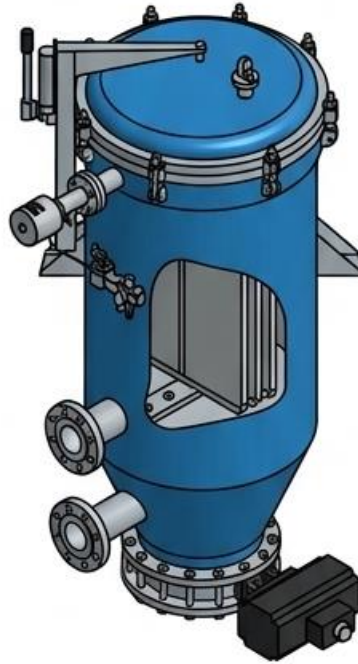


Рис. 3.1 – Вертикальний ступінчастий фільтр

Контрольна фільтрація здійснюється за допомогою мішкових фільтрів (рис. 3.2), що встановлюються після основного фільтра. Тут використовуються мішки з нетканого матеріалу (фетру) із селективністю 5–10 мікронів, а для олії, що надходить на розлив — 1–3 мікрони. Наявність цього ступеня запобігає швидкому засміченню дорогих картриджів наступного етапу.

На сучасних виробництвах використовують вертикальний пластинчастий фільтр, рідше горизонтальний пластинчастий фільтр, і зовсім рідко, на старих заводах. можна зустріти рамні прес-фільтри. Основна проблема прес-фільтрів в тому, що олія через фільтрувальні серветки контактує з повітрям і активно окислюється, вже потім слідує складність обслуговування, велика займана площа в цеху і наявність витратних матеріалів (серветок) .Вертикальний пластинчастий фільтр має герметичний корпус з вертикально встановленими пластинами на колекторі, тип фільтрувальної сітки залежить від процесу. Фільтр може працювати в ручному режимі, а також бути повністю або частково автоматизований. Основні переваги – герметичний корпус, займає мало місця і легкість обслуговування. Фільтр не має витратних матеріалів, крім ущільнень, сітки служать дуже довго.

На етапі основної фільтрації видаляється основна маса нежирових домішок, що містяться в олії після віджимання. Залишковий вміст домішок на виході складає близько 0.02% при вмісті у вихідній сировині 3-5%. Для забезпечення зазначеного вмісту домішок на вході фільтр встановлюється після фузопастки / вібросита. Надлишковий вміст домішок призведе до проблем аж до пошкодження пластин фільтра.

Фільтрація відбувається через наливний шар, одержуваний при циркуляції олії з домішками через пластини, самі домішки забезпечують хорошу якість фільтрації, і лише в окремих випадках потрібні фільтрувальні добавки (целюлоза або перліт) для створення більш проникного шару. При зростанні товщини шару збільшується гідравлічний опір і тиск в корпусі, після досягнення певного значення фільтрація зупиняється і запускається процес випорожнення з одночасною сушкою осаду. При сушінні з наливного шару видавлюється олія, чим нижче залишковий вміст, тим краще. При налагодженому технічному процесі після сушки виходить досить твердий шар товщиною до 2 см, званий «коржем», який легко відходить від пластин за допомогою вібростряхувача. Шматки коржа видаляються через донний вентиль і цикл запускається заново. Швидкість фільтрації залежить від в'язкості (температури), типу твердих домішок і структури коржа. Для ефективної фільтрації з хорошими результатами і легкого видалення коржа важливо спочатку створити наливний шар з потрібними характеристиками (щільність і структура), це досягається налаштуванням преса, фузопастки, а також умовами попереднього наміву (швидкість і тиск).

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контрольна фільтрація



Рис. 3.2 – Мішечний фільтр

На даній стадії повсюдно використовується мішечний фільтр, а також, рідше, патронний фільтр з регенерацією зворотним потоком / імпульсом (наприклад Крикет фільтр). Крикет фільтр має багато переваг, але набагато дорожче і складніше, тому менш популярний. Мішковий фільтр для контрольної фільтрації встановлюється після основного фільтра і служить в основному не для поліпшення якості олії, а для запобігання потрапляння випадкових домішок і каламуті в бак з фільтратом. Таке трапляється в процесі наміву, при збоях в фільтрації, при пошкодженні прокладок або сітки на пластинах. Для контрольної фільтрації

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовуються фільтрувальні мішки з нетканого матеріалу (фетру) селективність 5-10 мікрон. Для олії, що надходить на розлив можна використовувати мішки селективність 1-3 мікрон. Однак якщо є третій ступінь (полірувальна фільтрація), то мішки 1 мікрон вже необхідні, так як вони запобігають швидке засмічення більш дорогих картриджів для полірувальної фільтрації.

Полірувальна фільтрація

Зазвичай на даному ступені використовується картриджний фільтр, тарілчастий фільтр або мішечний фільтр з мішками мають абсолютний рейтинг. Найбільш поширений картриджний фільтр в силу універсальності і доступності витратних елементів. Мішки 0,8-1 мікрон з рейтингом 92-99% занадто дорогі і рідкісні, картонні модулі в тарілчастих фільтрах також дорожче і складніше утилізуються.

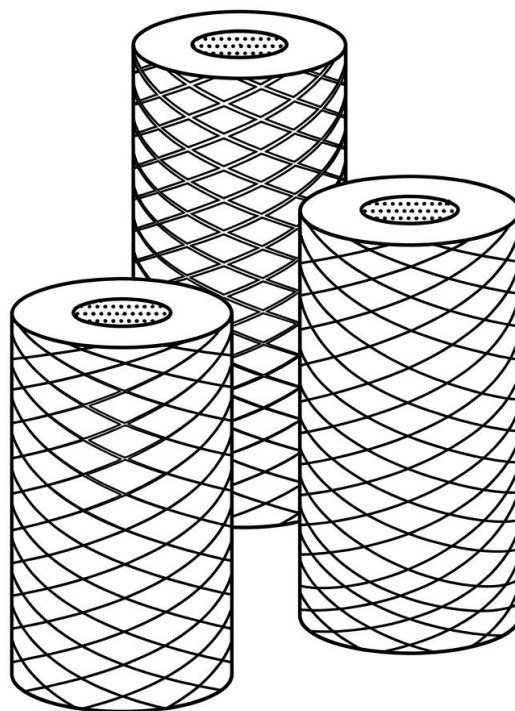


Рис. 3.3 – Картриджний фільтр

Полірувальна фільтрація на картриджному фільтрі здійснюється обов'язково після полірувального фільтра, наприклад мішечного. В іншому випадку витрати на

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фільтрацію зведуть економічну доцільність проекту до нуля. На стадії полірувальної фільтрації видаляються найдрібніші тверді частинки для досягнення необхідних якісних показників. Картриджний фільтр являє собою фільтротримач зі сталі з одним або декількома картриджами (селективність 1 мікрон). У переважній більшості випадків використовуються картриджі намотаної конструкції з бавовни або поліпропілену. Такі картриджі забезпечують залишковий вміст домішок 0,0024 мг / л. Іноді застосовують картриджі на сталевому сердечнику, але для пресової олії «холодного віджиму» це не має сенсу..

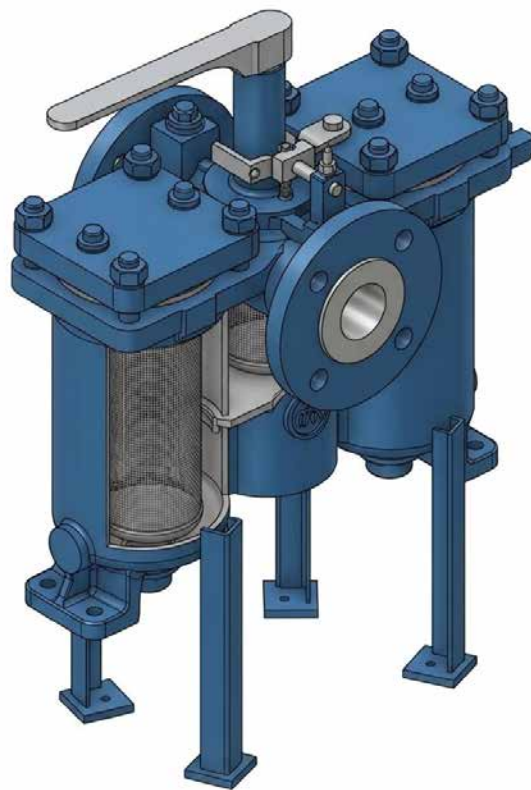


Рис. 3.4 –Кошик-сито

Для зовсім невеликих підприємств придбання наливного фільтра в якості основного найчастіше економічно невиправдано. Можна вийти з положення, встановивши замість наливного фільтра, кошик-сито (стрейнер) з ручним очищенням, значно дешевший. В такому випадку, він стоїть після відстійника або фузопастки і буде видаляти крупні домішки > 40 мікрон, мішечний фільтр видалить дрібні домішки > 1 мікрона, а картриджний фільтр (за потреби) служитиме для полірування. Основне навантаження в даному випадку несуть мішки, так як

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк. 57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стрейнер пропустить дуже багато дрібних домішок (до 10%), тому така система має сенс для підприємств, що випускають дорогі сорти олії дуже маленькою продуктивністю, інакше вартість витратних матеріалів (мішків) на кілограм олії перевищить вартість самої олії.

Аналіз відомих технічних рішень з питань автоматизації технологічного процесу підкреслює, що, кажучи про підприємства олієжирових виробництв, слід відмітити сильне відставання в процесі автоматизації та комп'ютеризації. Майже всі технологічні процеси в даній галузі або зовсім не автоматизовані, або частково і на низькому рівні. При переході більшості підприємств галузі на ринкові відносини все більшого значення набуває кожна зароблена чи зекономлена гривня. А досягати стабільності можна зокрема шляхом посиленої модернізації виробництва, застосування прогресивних технологій, автоматизації технологічних процесів. Сучасна автоматизація не лише підвищує гарантовану якість кінцевого продукту, але й безпосередньо впливає на показники енергоефективності, мінімізуючи вплив людського фактора та забезпечуючи оптимальні (номінальні) режими роботи потужного силового електрообладнання.

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Розрахунок і вибір технологічного обладнання

Для підвищення загальної продуктивності процесів фільтрації соняшникової олії та зниження питомих витрат енергії на одиницю готової продукції слід вибирати сучасні самоочисні фільтри. Використання обладнання, що не потребує додаткових витратних матеріалів та постійного ручного налагодження, дозволяє оптимізувати роботу електроприводів, перевівши їх у більш стабільний, тривалий режим роботи без частих енергоємних пусків та зупинок.

Фільтри рамні (РФ) Призначені для фільтрації рослинної олії, забезпечують її очищення від механічних домішок і важких жирів, а також парафінів відповідно до вимог ГОСТ для вищого сорту олії. Фільтр складається з рамок, обтягнутих фільтрувальною тканиною. Під тиском, створюваним насосом, олія подається в усі рамки одночасно, продавлюється через фільтрувальну тканину, звідки виходить вже очищеною. Механічні домішки, що містяться в рослинній олії, в результаті фільтрації збираються на поверхні тканини і потім видаляються за допомогою скребка.

Таблиця 3.2

Технічні дані рамних фільтрів

Параметр	РФ-4/1	РФ-5/1
Продуктивність, л/год	200	700
Пропускна здатність до очищення фільтру, кг	2000-2500	5000-6000
Габаритні розміри, мм	660x900x1600	2280x1035x1755
Маса, кг	230	583

Фільтри відцентрові (ФЦ-М, ФЦ) Призначені для безперервного очищення від механічних домішок рослинної олії, одержуваної на олійних підприємствах. Робота відцентрових апаратів пов'язана з обертанням масивних робочих органів, що генерує значний момент інерції. Встановлена потужність електродвигунів таких установок (до 18,5 кВт) робить їх одними з найпотужніших споживачів цеху. Для зниження пускових струмів та оптимізації електроспоживання керування такими фільтрами доцільно здійснювати через пристрої плавного пуску або частотні перетворювачі.

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3

Технічні дані відцентрових фільтрів

Параметр	ФЦ-М	ФЦ
Продуктивність, т/год	1	4
Встановлена потужність, кВт	3	18,5
Температура олії, що подається на очищення, оС	20-80	20-80
Загальна площа поверхні фільтрування, кв.м	3,7	11,4
Тривалість обертання валу при очищенні, разів/зміну	1	1
Ваговий відстій по масі, %:		
- До фільтрації	0,8	0,8
- Після фільтрації	0,02	0,02
Габаритні розміри, мм	1500x1000x2840	1900x1350x3325
Маса, кг	750	1800

Враховуючи значну встановлену потужність електродвигунів відцентрових установок (до 18,5 кВт), їх експлуатація є одним з ключових факторів навантаження на цехову мережу. Як було доведено розрахунками в розділі 2.4, прямий пуск потужних асинхронних двигунів призводить до короткочасних, але глибоких посадок напруги ($\Delta U_{\text{факт}} = 18,49$). Зважаючи на використання енергоефективних двигунів, для ліквідації пускових перевантажень та оптимізації споживання електроенергії, керування відцентровими фільтрами та живильними насосами має здійснюватися виключно через пристрої частотного регулювання (ЧРП).

Впровадження ЧРП є фундаментальним кроком до підвищення рентабельності. Під час роботи перекачувального обладнання, що забезпечує циркуляцію олії, використання традиційних механічних засувов (дроселювання) для регулювання витрати призводить до колосальних теплових втрат енергії. Згідно із гідродинамічними законами подібності (Affinity laws) для відцентрових насосів, споживана активна електрична потужність прямо пропорційна кубу швидкості обертання робочого колеса:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \quad (3.2)$$

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4

Порівняння енергоспоживання насосних агрегатів.

Режим регулювання продуктивності (80% потоку)	Споживання від номінальної потужності двигуна
Механічне дроселювання засувкою	~ 85 – 90%
Частотно-регульований привод (ЧРП)	~ 51.2% (оскільки $0.8^3 = 0.512$)

Наведена закономірність доводить, що при зниженні частоти обертання насоса всього до 80% від номінальної, енергоспоживання падає майже вдвічі. У масштабах річного циклу роботи підприємства така модернізація електропривода гарантує скорочення споживання на десятки тисяч кіловат-годин (наприклад, економія до 5467 кВт·год щомісяця для насоса 40 к.с.), що забезпечує надшвидкий термін окупності інвестицій (ROI), який часто не перевищує 12-16 місяців. Це також суттєво розвантажує обраний в розділі 2 силовий трансформатор ТМГ-160/10/0,4 У1.

Фузопастки МФ Призначені для первинного очищення олії від осипу перед її фільтрацією. Використання фузопасток демонструє мультиплікативний енергоощадний ефект: незважаючи на їхнє власне мізерне електроспоживання (від 0,18 до 0,25 кВт), вони дозволяють радикально знизити гідравлічне навантаження на основні насоси фільтрувальної лінії та значно подовжити робочий цикл основних фільтрів між періодами регенерації.

Таблиця 3.5

Технічні дані фузопасток

Параметр	МФ-1	МФ-2	МФ-5
Продуктивність, кг/год	400	2000	4000
Споживана потужність, кВт	0,18	0,25	0,25
Робочий об'єм, м3	0,4	1,8	2,5
Температура олії на очищення, оС	20-80	20-80	20-80
Габаритні розміри, мм	2380x980x1200	2475x1300x1800	3293x1745x2078
Маса, кг	356	840	1120

У виробничому циклі фільтри для олії відіграють дуже важливу роль. І харчова, і технічна олія на різних етапах виробництва потребує очищення. Виробники застосовують фільтри при первинній обробці, гідрогенізації,

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відбілюванні, виморожуванні і т.д. Рослинна олія з таких культур, як соняшник, льон, соя, рапс, бавовна, кукурудза та інші вимагають ретельної неодноразової фільтрації. На сучасних виробництвах використовують вертикальні пластинчасті фільтри для олії через свою надійність.

Класичний вертикальний фільтр для олії виглядає як велика витягнута вгору посудина з відкидною тороферичною кришкою, яка кріпиться на рухомий штанзі, і після затягування болтами забезпечує повну герметичність фільтра. Для підняття кришки передбачений домкрат. Також конструкція забезпечена поворотним кронштейном для відведення кришки в сторону. Крім олії, в такому фільтрі можна очищати і інші, неагресивні до вуглецевої сталі, речовини. Власне фільтрацію вертикальні фільтри для олії здійснюють за допомогою набору вертикальних сталевих пластин на особливій стяжці всередині установки. Застосування сталі забезпечує тривалу експлуатацію і відмінні результати фільтрації. Корпус непрозорий, проте проконтролювати стан олії можна за допомогою трьох спеціальних ліхтарів з оргскла, які вбудовані в підвідні і відвідні трубопроводи.

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

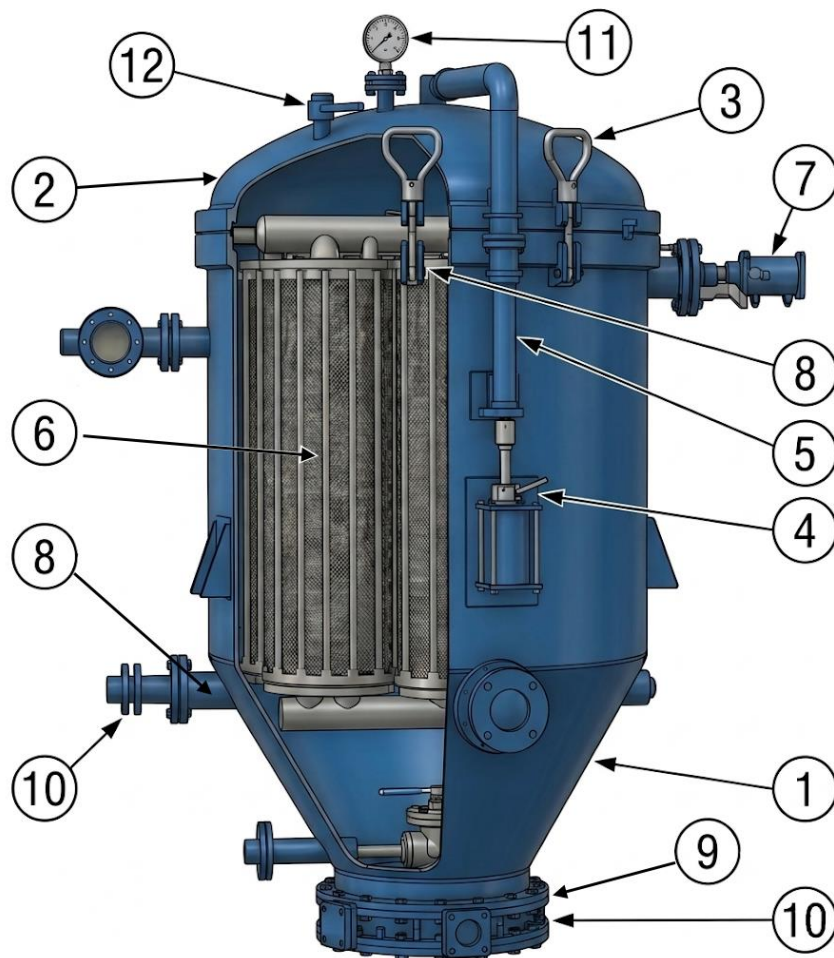


Рис. 3.5 –Будова вертикального пластинчатого фільтра

Специфікація конструктивних елементів: 1. корпус; 2. кришка; 3. відкидний болт; 4. домкрат; 5. кронштейн поворотний; 6. фільтрувальні пластини; 7. вібратор пневматичний; 8. збірний колектор; 9. донний клапан (затвор); 10. пневмоциліндр; 11 манометр; 12 кульовий кран.

Високоєфективний герметичний пластинчастий фільтр серії NYB — це високопродуктивне та економічне устаткування, що гарантує максимальну чистоту фільтрації. Установка відрізняється унікальною конструкцією, малими габаритами, високою прозорістю фільтрату і тонкістю очищення. В процесі роботи не відбувається втрати матеріалу, не витрачається фільтрувальний папір чи тканина. Автоматизація процесу скидання осаду за допомогою пневматичного вібратора скорочує витрати на обслуговування і чистку, підвищуючи коефіцієнт використання обладнання.

Структура та принцип роботи полягає в наступному. Фільтрувальні пластини, виготовлені з багатошарової нержавіючої сталеві сітки, встановлені на центральному колекторі для рідини. У процесі фільтрування рідина з допоміжним фільтруючим матеріалом подається насосом у резервуар. На сітці формується фільтраційний осад (корж), у якому утворюється безліч дрібних каналів. Фактичне очищення рідини здійснюється шляхом її прогону під тиском безпосередньо через цей сформований корж.

Для візуалізації взаємозв'язку описаного технологічного та насосного обладнання, а також контурів циркуляції олії, наведено загальну технологічну схему лінії фільтрації.

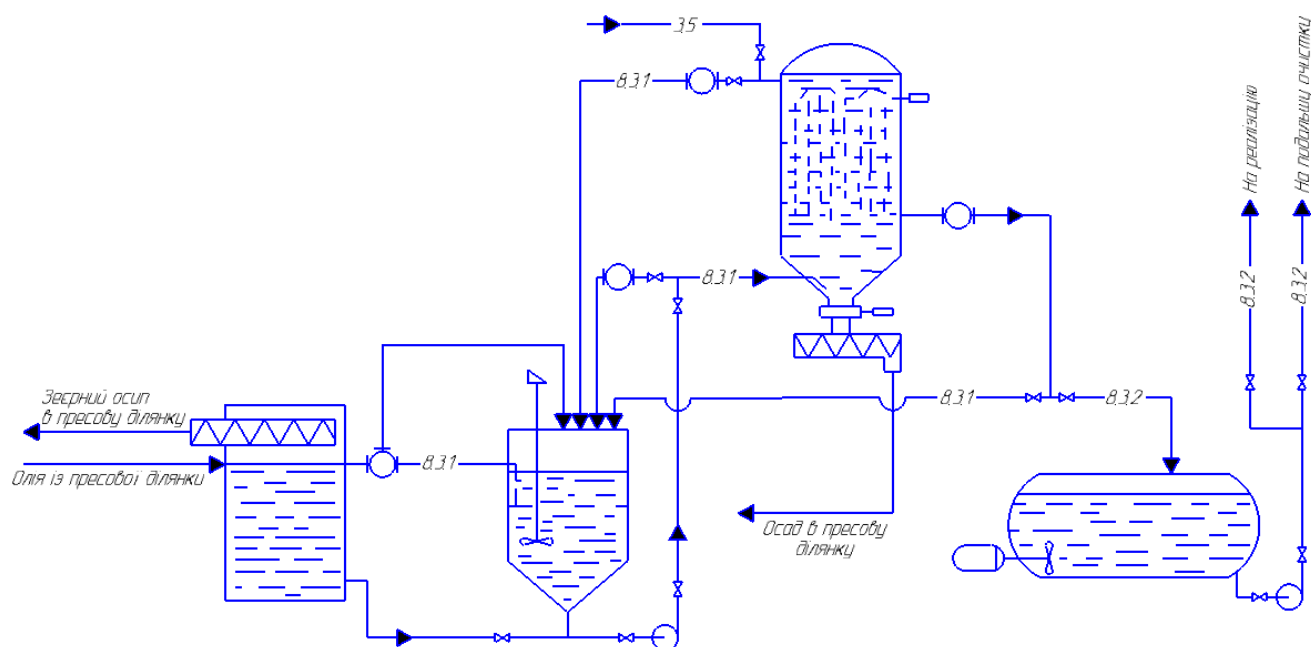


Рис. 3.6 – Технологічна схема лінії фільтрації

3.3 Автоматизація процесу фільтрації олії як засіб підвищення енергоефективності

Автоматизація виробничих процесів потрібна для виконання наступних стратегічних завдань:

- Забезпечення належної якості продукції, що випускається при найбільш економному використанні коштів теплоенергетики.
- Забезпечення безпеки та екологічної чистоти, як основних, так і допоміжних процесів.
- Покращення умов праці та безпеки обслуговуючого персоналу.

При автоматизації основних виробничих процесів і допоміжних процесів інженерного забезпечення основного виробництва потрібно повністю використовувати комплектно поставляються з установками і технологічними лініями системи автоматизації. Рівень автоматизації вітчизняних підприємств хімічної промисловості поки поступається рівню, досягнутому в інших галузях. Це пояснюється наступними основними причинами:

1. слабкою механізацією і автоматизацією допоміжних процесів, наявністю трудомістких операцій і апаратів періодичної дії;
2. недостатньою вивченістю процесів з точки зору можливості їх автоматизації;
3. відсутністю необхідних коштів автоматизації, особливо приладів для аналізу речовини.

Саме тому керування більшістю технологічних процесів здійснювалося вручну, за даними лабораторних аналізів. При ручному керуванні спостерігаються часті відхилення регульованих параметрів на величину, що перевищує допустимі межі, що негативно позначається на якості продукції. Як показує вітчизняний і закордонний досвід, побудова ефективної автоматизованої системи управління технологічних процесів (АСУТП) можливо при системотехнічному підході до вирішення завдання автоматизації, для чого необхідно: досконале знання об'єкта керування (наявність математичного опису об'єкта і алгоритмів керування), відповідність технології і обладнання сучасним вимогам, наявність необхідних засобів автоматизації (джерела інформації, засоби її передачі, виконавчі органи, що керують комплексами, і ін.).

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір принципової схеми регулювання і регулюючої апаратури залежить від значень допустимих відхилень параметрів технологічного процесу, а так само від характеру збурень. Якщо в об'єкті є незначні збурення, можна обійтися простою одноконтурною системою регулювання. При жорстких вимогах до відхилень регульованої величини від заданого значення треба компенсувати найменші і рідкісні збурення. В цьому випадку кращі результати дає застосування багатоконтурних систем. Щоб виключити несприятливі впливи значної інерційності об'єктів автоматизації на якість перехідних процесів, доцільно застосувати каскадні системи регулювання. У міру здійснення механізації виробництва скорочується важка фізична праця, зменшується чисельність робітників, безпосередньо зайнятих у виробництві, збільшується продуктивність праці і т. д. У механізованому технологічному процесі людина продовжує брати безпосередню участь, але його фізична робота зводиться лише до натискання кнопок, повороту важелів і т. п. Обмежені можливості людського організму (стомлюваність, недостатня швидкість реакції на зміну навколишнього оточення і на велику кількість одночасно надходить, суб'єктивність в оцінці ситуації, що склалася і т. д.) є перешкодою для подальшої інтенсифікації виробництва. Настає новий етап машинного виробництва - автоматизація, коли людина звільняється від безпосередньої участі у виробництві, а функції керування технологічними процесами, механізмами, машинами передаються автоматичним пристроям.

Автоматизація призводить до поліпшення основних показників ефективності виробництва: збільшення кількості, поліпшення якості та зниження собівартості продукції, що випускається, підвищення продуктивності праці. Впровадження автоматичних пристроїв забезпечує високу якість продукції, скорочення браку і відходів, зменшення витрат. Завдання, які вирішуються при автоматизації сучасних хімічних виробництв, дуже складні. Від фахівців потрібні знання не тільки пристроїв різних приладів, але й загальних принципів складання систем автоматичного управління.

В даному кваліфікаційному проєкті розглядається автоматизація установки для фільтрації соняшникової олії. Мета кваліфікаційної роботи ознайомитися з

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

принципами побудови сучасних систем автоматизації технологічних процесів, реалізованих на базі промислових контролерів і ЕОМ. В даний час такі системи широко впроваджуються на підприємствах харчової промисловості. В ході виконання кваліфікаційної роботи вирішуються такі завдання:

1. Ознайомлення з методикою розробки функціональних схем автоматизації технологічних процесів на базі серійного випуску приладів і промислових контролерів;
2. Ознайомлення з характеристиками сучасних приладів і засобів автоматизації;
3. Вивчення основних підходів до обґрунтованого вибору приладів і технічних засобів автоматизації;
4. Вивчення діючих стандартів і інших нормативних документів, що регламентують правила оформлення технічної документації по автоматизації технологічних процесів.

Вихідна дані Процес автоматизації установки для фільтрації, побудованої на аналогових приладах і засобах автоматизації, протікає за наступною схемою:

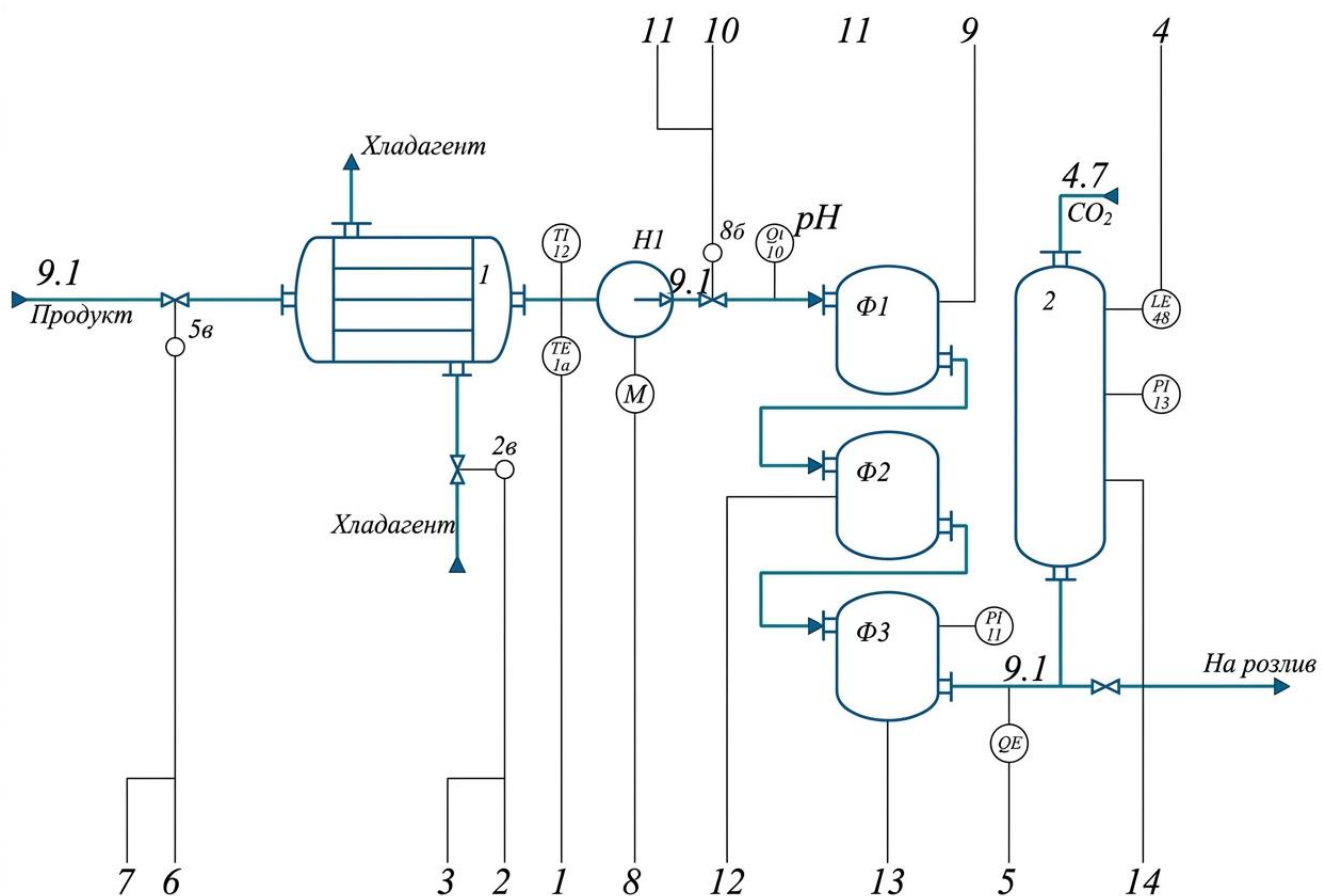


Рис.3.7 – Функціональна схема автоматизації установки для фільтрації олії

Опис установки

Вихідний продукт олія з температурою 18 ° С охолоджується до температури 2 ° С в установці глибокого охолодження 1. Далі продукт подається в триступеневий фільтр (ступені Ф1, Ф2, Ф3) насосом Н1. Після фільтрації готовий продукт надходить в резервуар 2 для зберігання або на розлив. Щоб уникнути попадання в резервуар 2 кисню в нього під тиском закачується вуглекислий газ.

Таблиця 3.6

Функції АСУТП та контрольовані параметри.Перелік контрольованих і регульованих параметрів

Функція АСУТП	Контрольований або регульований параметр	Механізм або об'єкт керування
Автоматичне регулювання	Температура продукту на виході 1	Витрата холодоагенту
	Рівень в резервуарі 2	Витрата продукту
	Витрата продукту на вході в 1 Ф1	За тиском на фільтрі Ф1
Вимірювання і реєстрація на ЕОМ (SCADA)	Температура продукту на виході 1	-
	Тиск в фільтрах Ф1, Ф2, Ф3	-
	Величина готового рН продукту на виході з Ф3	-
Вимірювання (локальне)	Величина рН готового продукту на виході з Ф3	-
	Тиск в фільтрі Ф3	-
	Температура продукту на виході з 1	-
Сигналізація (аварійна / попереджувальна)	Тиск в резервуарі 2	-
	Рівень в резервуарі 2	-
	Тиск в резервуарі 2	-
Автоматичне блокування	Тиск на фільтрі Ф2	-
	Відключення електродвигуна насоса	По верхньому рівню 2
	Відключення подачі продукту	За величиною рН на виході Ф3
Управління (дистанційне / локальне)	Включення і відключення двигуна насоса Н1	-

Для розробки схеми автоматизації установки для фільтрації задамо наступні Параметри контрольованого середовища:

- Щільність: 1044,2 кг / м³;
- Масова витрата: 2 т / год;
- Температура продукту на виході 1: 3 °С;
- Рівень в резервуарі 2: 3м;
- Тиск в фільтрах Ф1, Ф2, Ф3: 0,1 МПа;
- Величина рН готового продукту на виході з Ф3: 60%;
- Тиск в резервуарі 2: 0,1 МПа.

Розрахунок діаметрів трубопроводів можна визначити по витраті продукту:

$$Q = FW = \frac{\pi d^2}{4} W \quad (3.1)$$

де W - швидкість, м / с; F - площа поперечного перерізу трубопроводу, м²; d - внутрішній діаметр трубопроводу, м.

З формули отримаємо:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi W}} \quad (3.2)$$

При розрахунках трубопроводів швидкість руху (м / с) орієнтовано може бути прийнята в наступних інтервалах:

1. рух рідини при подачі насосом - 1,5 - 2,5 м / с;
2. рух самопливом - 0,5 - 1,0 м / с;
3. для газів - 5 - 20 м / с;
4. для парів - 20 - 40 м / с;

Визначимо витрату олії і діаметр трубопроводу для подачі її в установку глибокого охолодження. З технічної характеристики масова витрата: $G = 2$ т / год = 0,56 кг / с. Тоді об'ємна витрата:

$$Q_{об} = \frac{G}{\rho_{олії}} \quad (3.3)$$

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{об} = \frac{0,56}{9,2} = 0,061 Q_{об} = \frac{0,56}{9,2} = 0,061 \text{ м}^3/\text{с}$$

Знаючи об'ємну витрату олії з формули (3.1) визначимо діаметр трубопроводу:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,061}{3,14 \cdot 2}} = 0,039 \text{ м} = 39 \text{ мм},$$

де $W = 2 \text{ м / с}$, тому що олія подається насосом Н1.

Таким чином, отримали таке значення діаметра трубопроводу 40 мм.

Розробка функціональної схеми автоматизації

Схема автоматизації виконується відповідно до даних, наведених в розділі 1 даної роботи. Схема побудована на базі контролера ADAM 8000, укомплектованого відповідним набором модулів введення / виведення. Контролер пов'язаний з ЕОМ через мережу Ethernet. Керуюча ЕОМ таким чином використовується для виведення на екран значень технологічних змінних, їх реєстрації та сигналізації граничних значень. Також ЕОМ формує закони управління виконавчими механізмами і електродвигунами.

Серія промислових контролерів ADAM-8000 від компанії Advantech (зокрема CPU 821хDP або 8517PCI) є потужною апаратною платформою, спеціально розробленою для вирішення завдань розподіленого керування (DCS). Архітектура цього ПЛК дозволяє інтегрувати відкриті стандарти зв'язку (Ethernet/IP, Modbus TCP, Profibus-DP), забезпечуючи миттєву передачу критичних даних на SCADA-сервер. Використання мікропроцесорного управління з вбудованими алгоритмами ПД-регулювання мінімізує вплив людського фактора та гарантує точне підтримання тиску і температури. Сучасні SCADA-системи дозволяють оператору візуалізувати стан кожного насоса, заслінки та фільтра в реальному часі на інтуїтивно зрозумілій мнемосхемі, генерувати тренди та керувати аварійними подіями (Alarms).

Регулювання температури продукту на виході 1 здійснюється шляхом зміни витрати холодоагенту на вході в 1. Для вимірювання температури олії в трубопроводі на виході 1 використовується термоперетворювач ТСПУ Метран-276

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з уніфікованим вихідним сигналом поз. ТЕ-1а. Вбудований в головку датчика вимірювальний перетворювач перетворює вимірювану температуру в уніфікований вихідний сигнал (4-20мА), який подається на модуль аналогового введення AI 8231-1BD52, контролера ADAM 8000 і реєструється на ЕОМ. Контролер порівнює отримане значення з заданим і по закону регулювання виробляє послідовність імпульсів. Імпульси з модуля дискретного виводу DO 8222-1BF10 надходять на двигун виконавчого механізму 2в, через магнітний пускач поз. 2б. Регулюючий орган оснащений електричним виконавчим механізмом. Виходячи з особливостей управління електродвигунним виконавчим механізмом в схемі задіяно два канали дискретного виводу. Технологічні трубопроводи позначені на схемі відповідно до вимог ГОСТ 14202-69.

Контролер порівнює отримане значення із заданим і по закону регулювання виробляє послідовність імпульсів. Імпульси з модуля дискретного виводу DO 8222-1BF10 надходять на двигун виконавчого механізму 2в, через магнітний пускач поз. 2б. Регулюючий орган оснащений електричним виконавчим механізмом. Виходячи з особливостей управління електродвигунним виконавчим механізмом в схемі задіяно два канали дискретного виводу. Технологічні трубопроводи позначені на схемі відповідно до вимог ГОСТ 14202-69.

Інтенсивність відбитого сигналу залежить від діелектричної проникності середовища. Чим вище діелектрична проникність, тим вище інтенсивність відбитого сигналу. Уніфікований вихідний сигнал (4-20мА) подається на модуль аналогового введення AI 8231-1BD52, контролера ADAM 8000. Цей модуль призначений для введення уніфікованого струмового сигналу 4-20 мА. Контролер порівнює отриманий сигнал із заданим значенням і при необхідності за законом регулювання виробляє послідовність імпульсів. Імпульси з модуля дискретного виводу DO 8222-1BF10 надходять на двигун виконавчого механізму 5в, через магнітний пускач поз. 5б. Виходячи з особливостей управління електродвигунним виконавчим механізмом в схемі задіяно два канали дискретного виводу. При відхиленні рівня в 2 від заданої величини з модуля дискретного виводу DO 8222-1BF10 надходить сигнал на сигнальну лампу, встановлену на щиті поз. НЛ1.

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Регулювання витрати продукту на вході в Ф1 по тиску в фільтрі Ф1 здійснюється за рахунок зміни витрати олії на вході в Ф1. Для вимірювання тиску в фільтрі Ф1 використовується перетворювач надлишкового тиску Кроунд 104. Вимірюваний тиск врівноважується силами пружної протидії чутливого елемента. Деформація перетворюється за допомогою перетворювача в уніфікований сигнал 4-20мА, який подається на модуль аналогового введення AI 8231-1BD52, контролера ADAM 8000 і реєструється на ЕОМ. Контролер порівнює отриманий сигнал із заданим значенням і при необхідності за законом регулювання виробляє послідовність імпульсів. Імпульси з модуля дискретного виводу DO 8222-1BF10 надходять на двигун виконавчого механізму 8в, через магнітний пускач поз. 8б. Виходячи з особливостей управління електродвигунним виконавчим механізмом в схемі задіяно два канали дискретного виводу. При відхиленні тиску в Ф2 від заданої величини з модуля дискретного виводу DO 8222-1BF10 надходить сигнал на сигнальну лампу, встановлену на щиті поз. HL3.

Відключення подачі продукту за величиною рН на виході з Ф3 здійснюється наступним чином. Величина рН на виході з Ф3 визначається за допомогою вимірювальної системи РН200. Вона складається з чутливого елемента, тримача, розподільника живлення і перетворювача з вихідним сигналом 4-20 мА, який подається на модуль аналогового введення AI 8231-1BD52, контролера ADAM 8000 і реєструється на ЕОМ. Контролер порівнює отриманий сигнал з заданим значенням і при необхідності виробляє керуючий сигнал. Він надходить на електродвигун виконавчого механізму поз. 5в з модуля дискретного виводу DO 8222-1BF10 через магнітний пускач поз. 5б. Виходячи з особливостей управління електродвигунним виконавчим механізмом в схемі задіяно два канали дискретного виводу.

Для вимірювання тиску в фільтрах Ф2, Ф3 використовуються перетворювачі надлишкового тиску Кроунд 104. Вимірюється тиск врівноважується силами пружного протидії чутливого елемента. Деформація перетворюється за допомогою перетворювача в уніфікований сигнал 4-20мА, який подається і реєструється на ЕОМ через модуль аналогового введення AI 8231-1BD52. При відхиленні тиску в

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ф2 від заданої величини з модуля дискретного виводу DO 8222-1BF10 надходить сигнал на сигнальну лампу, встановлену на щиті поз. HL3.

Вибір і обґрунтування приладів і засобів автоматизації

При виборі приладів і технічних засобів автоматизації необхідно враховувати характер технологічного процесу, умови пожежо- та вибухонебезпечності, токсичність і агресивність навколишнього середовища; параметри і фізико-хімічні властивості вимірюваного середовища; дальність передачі сигналів інформації від місця установки вимірюваних перетворювачів до пунктів контролю і управління. Вимоги до якості роботи системи автоматичного контролю включають в себе основні метрологічні дані: точність вимірювання; поріг чутливості; швидкодію системи.

Кнопковий пост (3а, 5а, 6а, 8а)

Вибираємо кнопковий пост ПКЄ. Використовується для керування електродвигуном зі щита управління.

Пускач магнітний (3б, 5б, 6б, 8б)

Вибираємо магнітний пускач неререверсивний ПМП. (Враховуючи вимоги енергозбереження, які розглядалися в розділі 1.3, для безпосереднього пуску замість застарілих електромагнітних пускатрів доцільно також застосовувати сучасні контактори типу LC1D зі зменшеним споживанням енергії котушками керування).

Регулюючі клапани (3в, 5в, 8в)

Електричні і пневматичні регулюючі клапани Samson 240. Типовий ряд регулюючих клапанів Samson 240 включають в себе пневматичні та електричні прохідні, триходові і кутові клапани. Вони застосовуються для виконання завдань регулювання і управління в технологічних і промислових установках. Блоковий принцип конструкції забезпечує простоту оснащення додатковими пристроями і зручність обслуговування. Регулюючі клапани складаються з клапана і сервоприводу. Вони можуть бути оснащені, за вибором, пневматичними, електричними або електрогідравлічними приводами, а також ручними приводами. Для управління і сигналізації ходу до клапану можуть бути прибудовані

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

периферійні пристрої, такі як позиціонери, кінцеві вимикачі і магнітні клапани. Для виготовлення корпусів клапанів використовуються сірий чавун, чавун з кулястим графітом, сталеве лиття, корозійностійка або холодостійка лита сталь, коване залізо або корозійностійка коване залізо і спеціальні матеріали. При повністю корозійностійкої виконанні всі деталі клапана і корпус пневматичного приводу виконуються з корозійностійкої сталі.

Вибираємо: Тип 3347 клапан для харчової промисловості з електричним приводом. Кутовий клапан для харчової і фармацевтичної промисловості, а також для біохімічних технологій, з приєднувальними кінцями під зварення, різьбове з'єднання або затиск Clamp. Підходить для очищення згідно СІР-методикою. Умовний діаметр Ду 15... 120 мм. Умовний тиск 16 бар. Діапазон температур -10... + 150 ° С.

Перетворювач надлишкового тиску (7а, 9а, 10а, 11а).

Початкові дані. Тиск постійний. Робоче значення тиску 0,1 МПа, максимально допустима похибка вимірювань перетворювача $\Delta = \pm 0,005$ МПа. Перетворювач передбачається підключати до модуля аналогового вводу 8231-1BD60 контролера ADAM-8000. Верхні межі вимірювання вибираються з ряду значень зазначених заводом виробником з округленням у більшу сторону. Визначаємо верхня межа вимірювання перетворювача $0,1 / (3/4) = 0,13$ МПа.

Вибираємо за довідником перетворювач надлишкового тиску Кроунд 105, призначений для вимірювання тиску рідини, харчових продуктів. Діапазони вимірюваних тисків: 0... 0,4МПа. Основна похибка вимірювань до $\pm 0,1\%$ від діапазону вимірювань. Виконання по ГОСТ 12997: звичайне. Перетворювачі забезпечують безперервне перетворення в уніфікований аналоговий струмовий сигнал (4... 20 мА) надлишкового тиску. Діапазон вимірювання обраний таким чином, щоб максимальне робоче значення тиску становило приблизно 3/4 від діапазону вимірювання, оскільки тиск в трубопроводі постійний. Перетворювач формує уніфікований струмовий сигнал 4-20 мА, що дозволяє підключати його до модуля аналогового вводу 8231-1BD60 контролера ADAM-8000. Основна похибка даного перетворювача складає $\pm 0,1\%$ від діапазону вимірювання і дорівнює: $\Delta p =$

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\pm 0,4 * 0,1/100 = \pm 0,0004$ МПа. Оскільки ΔP не перевищує максимально допустиму похибку вимірювань $\Delta = \pm 0,005$ МПа, то обраний перетворювач забезпечує необхідну точність вимірювань. Сигнал стандарту 4-20 мА є промисловим еталоном (струмова петля), що гарантує високу стійкість до електромагнітних завад (ЕМС), які можуть виникати від роботи ЧРП та магістральних ліній 0,38 кВ.

Рівнемір (4а)

Сигналізатори і вимірювальні перетворювачі рівня вибираються з урахуванням властивостей вимірюваного середовища, умов протікання технологічного процесу, допустимі межі та класу точності. Вторинний прилад або модуль введення контролера підбираються з урахуванням типу вихідного сигналу перетворювача або сигналізатора. Найбільш поширеними і простими засобами вимірювання рівня є буйкові, поплавкові і гідростатичні рівнеміри. У разі складних умов експлуатації необхідно використовувати безконтактні способи вимірювання рівня (наприклад, хвильові, радарні або ємнісні перетворювачі і сигналізатори рівня).

Вибираємо вимірювальний перетворювач рівня для вимірювання рівня розділу середовищ в ємностях для даного технологічного процесу. Початкові дані. Максимальне робоче значення рівня розділу середовищ 3 м. Умови експлуатації складні (процес характеризується наявністю турбулентності і інтенсивним піноутворенням). Максимально допустима похибка вимірювань перетворювача ± 10 мм. Перетворювач передбачається підключати до модуля аналогового вводу 8231-1BD60 контролера ADAM-8000. Визначаємо необхідну верхню межу вимірювання таким чином, щоб максимальне значення вимірюваного параметра лежало в останній чверті діапазону $L_v = 3 / (3/4) = 4$ м. З урахуванням умов експлуатації вибираємо хвилеводний рівнемір Метран 3300, модель 3302. Дана модель призначена для вимірювання рівня розділу середовищ в складних умовах експлуатації (турбулентність, піноутворення). Діапазон вимірювання від 0,1 до 4 м. Абсолютна похибка вимірювання ± 5 мм. Ця похибка не перевищує номінальний струм, заданої у вихідних даних. Перетворювач формує уніфікований аналоговий сигнал 4-20мА, що дозволяє підключати його до модуля аналогового вводу 8231-

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1BD60 контролера ADAM-8000. Принцип дії таких датчиків базується на методі рефлектометрії (Time Domain Reflectometry), що дозволяє нівелювати вплив зміни діелектричної проникності олії при різних температурах.

Термоперетворювач (1а)

Вихідні дані: максимальне робоче значення температури = 3 ° С, максимально допустима похибка вимірювань перетворювача $\Delta = \pm 1$ ° С. Середовище агресивне, що не руйнує матеріал захисної арматури. Термоперетворювач передбачається підключати до модуля аналогового вводу 8231-1BD52 контролера ADAM-8000. За довідковим посібником попередньо виберемо термоперетворювач опору платиновий ТСП-0395 з діапазоном вимірюваних температур -50... 200 ° С, клас допуску В, номінальною статичною характеристикою Pt100 і класом допуску В. Термоперетворювач дозволяє вимірювати температуру хімічно агресивних середовищ, які не руйнують матеріал захисної арматури. НСХ Pt100 обрана, оскільки модуль аналогового введення 8231-1BD52 розрахований на вхідний сигнал від термоперетворювачів з НСХ Pt100.

Перевіримо далі, чи забезпечує даний термоперетворювач необхідну за умовою точність вимірювання. Визначимо гранично допустиме відхилення від НСХ термоперетворювача опору класу допуску В і НСХ Pt100: $\Delta t = \pm(0,3+0.005|t|) = \pm(0.3+0,005 \cdot 3) = 0,315^{\circ}\text{C}$. Так як межі Δt не перевищують по модулю меж максимально допустимої похибки вимірювань $\Delta = \pm 1^{\circ}\text{C}$, то обраний термоперетворювач забезпечує необхідну точність вимірювання. Для всіх вимірювань температури використовуємо даний перетворювач.

Вимірювальна система рН (2а, 10)

Вимірювальні системи рН вибираються з урахуванням властивостей вимірюваного середовища, умов протікання технологічного процесу, допустимі межі та класу точності. Системи призначені для контролю якості технологічних розчинів в різноманітних виробничих процесах. Початкові дані. рН постійне. Робоче значення рН 4,2, максимально допустима похибка вимірювань перетворювача $\Delta = \pm 0,005$. Перетворювач передбачається підключати до модуля аналогового вводу 8231-1BD60 контролера ADAM-8000. Вибираємо вимірювальну

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

систему рН. Контрольованому середовищі рідина, $t = -5..105^{\circ}\text{C}$; $P = 0..500$ кПа. Форма подання інформації: цифрова індикація, вихідний сигнал 4..20 мА. Межі вимірювання 0..14 одиниць рН. Похибка $\pm 0,1$ одиниць рН. Складається з чутливого елемента, тримача, перетворювача, розподільника живлення, необхідних витратних матеріалів.

Сигнальна арматура

Для сигналізації граничних значень вибираємо світлосигнальну арматуру АЕ з червоним світлофільтром. Все обладнання вибране з умов безпеки і узгодження вхідних і вихідних сигналів. Всі прилади забезпечують заданий діапазон виміру. Всі прилади автоматизації представлені в специфікації. Зазначена апаратура повністю узгоджується із вибором автоматичних вимикачів захисту двигунів (серії GV2 або ВА) та кабельних трас у гофрованих трубах (перерізом ВВГнг 4х2.5 мм²), параметри яких були розраховані в розділах 1.3 та 1.4 для забезпечення безпеки під час коротких замикань і мінімізації теплових втрат ΔP .

Вибір контролера і модулів введення і виведення

В якості керуючого контролера за довідковим посібником виберемо контролер ADAM-8000 виробник Advantech. Це мікроконтролер, призначений для створення на його основі автономних систем збору даних і управління. Він призначений для використання в системах промислової автоматизації з підвищеними вимогами до надійності устаткування і до часових параметрів контурів управління, контролер може працювати в промислових мережах MPI, Profibus-DP, ModBus TCP і CAN. Програмувати контролер можна як за допомогою стандартного пакета Simatic Manager з мовою програмування Step7, так і за допомогою недорогих програмних пакетів з обмеженою функціональністю ADAM-WINPC7 і ADAM-WINNCS.

Серія ADAM-8000 надає можливості розподіленого вводу-виводу при автоматизації технологічних процесів, створення промислових комунікацій на виробництві. Мікроконтролер складається з двох основних частин: базового блоку і модулів вводу / виводу. Базовий блок включає в себе процесор з самостійним PLC контролером ADAM-8214-1BA01, процесор з Ethernet інтерфейсом: ADAM-8214-1

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

BT01; вбудоване джерело постійної напруги 24 В; інтерфейс передачі даних - MP2I; світлодіодний індикатор стану для режимів роботи і діагностики; зовнішню карту пам'яті. Характеристики процесорного модуля наведені в таблиці 3.7.

Програмувати контролер можна як за допомогою стандартного пакета Simatic Manager з мовою програмування Step7, так і за допомогою недорогих програмних пакетів з обмеженою функціональністю ADAM-WINPC7 і ADAM-WINNCS. Серія ADAM-8000 надає можливості розподіленого вводу-виводу при автоматизації технологічних процесів, створення промислових комунікацій на виробництві.

Мікроконтролер складається з двох основних частин: базового блоку і модулів вводу / виводу. Базовий блок включає в себе процесор з самостійним PLC контролером ADAM-8214-1BA01, процесор з Ethernet інтерфейсом: ADAM-8214-1 BT01; вбудоване джерело постійної напруги 24 В; інтерфейс передачі даних - MP2I; світлодіодний індикатор стану для режимів роботи і діагностики; зовнішню карту пам'яті. Характеристики процесорного модуля наведені в таблиці .

Таблиця 3.7

Характеристики процесорного модуля

Модель	ОЗУ, кбайт	ПЗУ, кбайт	Напруга живлення, В	Споживана потужність, Вт
8214	40	32	24	3,5

Вибір модулів введення / виведення. Відповідно до функціональної схеми автоматизації необхідно 7 каналів аналогового введення розрахованих на уніфікований струмовий сигнал 4-20 мА. Це сигнали від перетворювачів вимірювальної системи рН поз. QI-10, QE-2a, сигнали від перетворювачів тиску поз. PT-7a, PT-9a, PT-10a, PT-11a, від перетворювача опору TI-1a, від перетворювача рівнеміра поз. LE-4a. Для реалізації цих каналів використовуємо модуль аналогового введення ADAM-8231-1BD52. Даний модуль має 4 аналогових входу, тип вхідного сигналу 4-20 мА. Використовуємо 2 модуля. Їх точність $\pm 0,2\%$.

Для реалізації сигналізації крайніх положень виконавчих механізмів, управління магнітними пускачами поз. NS-2a, NS-5a, NS-6a, NS-8a, необхідно 8

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

каналів дискретного введення. Використовуємо модуль дискретного вводу ADAM-8221-1BF00. Даний модуль має 8 дискретних входів. Вхідна напруга 24В. Використовуємо 1 модуль. Для реалізації вмикання / вимикання сигнальної арматури HL1, HL2, HL3 і подачі сигналу на магнітні пускачі необхідно 11 каналів дискретного виводу ADAM-8222-1BF10. Даний модуль має 8 дискретних виводів. Вихідна напруга 24 В, вихідний струм 1А. Використовуємо 1 модуль.

Інтеграція сучасних промислових мереж (IoT протоколів, таких як MQTT), реалізованих за допомогою модулів Advantech, дозволяє віддалено збирати діагностичні дані в хмарні середовища. Це розширює функціонал звичайної диспетчеризації (SCADA) до рівня предиктивного обслуговування (Predictive Maintenance), де оператори можуть аналізувати тренди зносу насосів чи засмічення фільтрів до того, як вони призведуть до аварійної зупинки обладнання або критичного падіння напруги на трансформаторі підстанції.

Прив'язку сигналів до датчиків і виконавчих механізмів оформимо у вигляді таблиці:

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.8

Модулі вводу/виводу для контролера

№	Технологічна позиція	Позиція по специфікації	Вхід/вихід		Тип модуля вводу/виводу	Кількість модулів
1	TE	1a	AI1+	AI1-	ADAM-8231-1BD52	2
2	QE	2a	AI2+	AI2-		
3	LE	4a	AI3+	AI3-		
4	PT	7a	AI4+	AI4-		
5	PT	9a	AI5+	AI5-		
6	PT	10a	AI6+	AI6-		
7	PT	11a	AI7+	AI7-		
8	-	2в	DI1+	DI1-	ADAM-8221-1BF00	1
9	-	5в	DI2+	DI2-		
10	-	8в	DI3+	DI3-		
11	HS	2б	DO1+	DO1-	ADAM-8222-1BF10	1
12	NS	2a	DO2+	DO2-		
13	HS	5б	DO3+	DO3-		
14	NS	5a	DO4+	DO4-		
15	HS	6б	DO5+	DO5-		
16	NS	6a	DO6+	DO6-		
17	HS	8б	DO7+	DO7-		
18	NS	8a	DO8+	DO8-		
19	-	HL1	DO9+	DO9-		
20	-	HL2	DO10+	DO10-		
21	-	HL3	DO11+	DO11-		

Таблиця 3.9

Специфікація обладнання

Позиція	Позначення	Тип	Кіль.	Примітка
1а	Термоперетворювач опору Межа вимірювання -50..150°C Вихідний сигнал 4-20 мА	ТСП-0395	1	
2а, 10	Вимірювальна система рН Межа вимірювання 0..14 од. рН Вихідний сигнал 4-20 мА	РН200	2	
2а, 5а, 6а, 8а	Кнопковий пост	ПКЕ	4	
2б, 5б, 6б, 8б	Пускач магнітний	ПМП	4	
3в, 5в, 8в	Клапан запірно-регулюючий односідельний з електричним виконавчим механізмом Вихідний сигнал 4-20 мА	ГА 68003-025	3	
4а	Рівнемір хвилеводний Діапазон вимірювання 0,1-4 м Вихідний сигнал 4-20мА	Метран 3300	1	
7а, 9а, 10а, 11а	Перетворювач надлишкового тиску Верхня межа вимірювання 0,4 мПа Вихідний сигнал 4-20 мА	Кроунд 104	4	
11, 13	Манометр Діапазон вимірювання 0-0,16 мПа Клас точності 2,5	МТ	2	
12	Термометр Клас точності 1,5 Діапазон вимірювання -50..50°C	ТГП-100Эк	1	
HL1, HL2, HL3	Сигнальна арматура Вихідний сигнал 24 В	АЕ	3	

3.4. Забезпечення електромагнітної сумісності обладнання автоматизації

Впровадження частотно-регульованих приводів (для насосних агрегатів цеху фільтрації є ключовим інструментом підвищення енергоефективності. Проте, з технічної точки зору, перетворювачі частоти з широтно-імпульсною модуляцією виступають потужними генераторами високочастотних електромагнітних завад. Ці завади поширюються як кондуктивним шляхом, так і індуктивним.

Враховуючи, що ядром системи керування обрано мікропроцесорний контролер ADAM-8000, а збір даних здійснюється за допомогою чутливих аналогових датчиків (зокрема, хвилеводного рівнеміра Метран 3300 та перетворювачів тиску з сигналом 4-20 мА), ігнорування питань електромагнітної сумісності неминуче призведе до хибних спрацювань автоматики, спотворення вимірювань та можливого пошкодження модулів вводу/виводу.

Для забезпечення надійної та безперебійної роботи електротехнічного комплексу в умовах високого рівня індустріальних завад, у даному проєкті передбачено комплекс апаратних та монтажних рішень щодо забезпечення ЕМС.

Найбільш вразливою ланкою АСУТП є лінії передачі аналогових сигналів. Практика експлуатації показує, що прокладання слабкострумівих ліній керування в одному лотку з силовими кабелями від ЧРП до двигунів створює паразитні ємнісні та індуктивні зв'язки. Для усунення цього явища прийнято наступні монтажні правила:

- Силові кабелі живлення електродвигунів (прокладаються виключно екранованим кабелем. Екран силового кабелю заземлюється з обох боків (на корпусі двигуна та на РЕ-шині шафи керування) з використанням спеціальних ЕМС-сальників, що забезпечують 360-градусний контакт.
- Сигнальні кабелі 4-20 мА від датчиків тиску та рН-метрів також виконуються екранованими. Однак, на відміну від силових ліній, їхній екран заземлюється строго з одного боку — в шафі керування біля контролера ADAM. Це робиться для того, щоб уникнути утворення «земляних петель» та протікання вирівнювальних струмів через екран сигнального дроту.

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Кабельні траси розділено на дві незалежні магістралі. Відстань між паралельно прокладеними силовими та сигнальними лотками становить не менше 300 мм. При необхідності їх перетину, монтаж здійснюється виключно під прямим кутом (90 градусів).

Щоб запобігти проникненню вищих гармонік струму від випрямлячів частотних перетворювачів назад у цехову мережу 0,4 кВ (що може негативно вплинути на освітлювальні LED-установки та роботу трансформатора ТМГ-160), на вході кожного потужного ЧРП встановлюються мережеві (вхідні) дроселі змінного струму. Наявність дроселя з індуктивністю, розрахованою на падіння напруги близько 3-5%, дозволяє згладити піки споживаного струму, знизити коефіцієнт нелінійних спотворень (THDi) та захистити вхідні кола самого частотника від перенапруг у мережі живлення.

Промисловий контролер ADAM-8000 потребує стабілізованої напруги 24 В постійного струму. Живлення процесорного модуля та модулів розширення (ADAM-8231, ADAM-8222) реалізовано через окреме промислове імпульсне джерело живлення, підключене до мережі через розділовий трансформатор 220/220 В. Така конфігурація створює надійний бар'єр проти високочастотних імпульсних завад.

Крім того, всі обрані модулі аналогового вводу-виводу серії ADAM мають вбудовану оптичну ізоляцію каналів. Це означає, що навіть у випадку критичного пробоя на лінії датчика (наприклад, потрапляння фазної напруги на сигнальний провід 4-20 мА через пошкодження ізоляції на фільтр-пресі), висока напруга не пройде через оптичний бар'єр і не виведе з ладу центральний процесорний модуль 8214.

Таким чином, інтеграція зазначених заходів з електромагнітної сумісності на етапі проєктування дозволяє гарантувати стабільність метрологічних характеристик вимірювальної системи та нівелювати негативний вплив силової електроніки на слабострумові кола керування лінією фільтрації.

Для обмеження впливу вищих гармонік від перетворювача частоти насосного агрегату необхідно встановити вхідний мережевий дросель. Розрахунок

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптимальної індуктивності дроселя (L , Гн), що забезпечує падіння напруги на рівні 4% (стандартне рекомендоване значення для промислових мереж), виконується за базовим електротехнічним співвідношенням:

$$L = \frac{\Delta U \cdot U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot 2\pi f \cdot I_{\text{ном}}} \quad (3.4)$$

де:

- ΔU — відносне падіння напруги на дроселі (приймаємо 0,04);
- $U_{\text{ном}}$ — номінальна лінійна напруга мережі (380 В);
- f — частота мережі живлення (50 Гц);
- $I_{\text{ном}}$ — номінальний вхідний струм перетворювача частоти (наприклад, для приводу насоса потужністю 5,5 кВт струм становить орієнтовно 12 А).

Підставляючи робочі параметри, отримуємо необхідну індуктивність для кожної фази:

$$L = \frac{0,04 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 314 \cdot 12} \approx 0,0023 \text{ Гн (2,3 мГн)}$$

Встановлення дроселя з розрахованим параметром дозволяє знизити коефіцієнт гармонійних спотворень струму (THD_i) з типових 40-50% (властивих для стандартних 6-пульсних випрямлячів) до прийнятних 30%. Це суттєво зменшує теплове навантаження на цеховий трансформатор ТМГ та подовжує термін служби конденсаторів у ланці постійного струму самого частотника.

Порівняльний аналіз ефективності заходів з ЕМС

Для комплексного оцінювання впроваджених технічних рішень щодо захисту мікропроцесорної системи ADAM-8000 від індустриальних завад, основні заходи та їх технологічні наслідки зведено до таблиці 3.4.1.

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.10

Оцінка ефективності технічних рішень із забезпечення електромагнітної сумісності

Впроваджений технічний захід	Джерело завади	Фізичний механізм захисту	Очікуваний експлуатаційний ефект
Екранування силових кабелів ЧРП з двостороннім заземленням	ШІМ-інвертор частотного перетворювача	Замикання високочастотних струмів витоку через екран на контур заземлення	Усунення радіовипромінювання та паразитних наведень на сусідні сигнальні магістралі
Одностороннє заземлення екранів аналогових датчиків (4-20 мА)	Електромагнітні поля від паралельних силових ліній	Запобігання утворенню замкнутих контурів («земляних петель»)	Стабілізація показів датчиків тиску та рівня, відсутність хибних «стрибків» вимірювань
Встановлення вхідних мережевих дроселів (2,3 мГн)	Діодний випрямляч частотного перетворювача	Збільшення індуктивного опору лінії для струмів вищих гармонік	Зниження THD_i до 30%, захист мережі 0,4 кВ від спотворення синусоїди напруги
Використання оптичної розв'язки в модулях серії ADAM	Короткі замикання, випадкові пробої ізоляції на периферії	Фізичне розділення електричних кіл ізолюючим світловим бар'єром	Гарантований захист центрального процесора від вигорання при аваріях на польовому рівні

Систематизовані у таблиці дані підтверджують, що застосований комплексний підхід дозволяє ефективно локалізувати електромагнітні завади безпосередньо в місцях їх виникнення. Це гарантує метрологічну достовірність даних, що надходять до системи верхнього рівня, та практично виключає можливість аварійних зупинок фільтрувального обладнання через "зависання" чи збої в роботі автоматики.

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						86
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз умов праці та ідентифікація шкідливих виробничих факторів

Цех з вироблення соняшникової олії відноситься до підприємств харчової промисловості з підвищеним рівнем небезпеки. Технологічний процес включає механічну обробку насіння (очищення, обрушення, подрібнення), вологотеплову обробку (жаровні) та безпосередньо пресування і фільтрацію. Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74, під час роботи електротехнологічного обладнання на працівників можуть впливати наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- Фізичні: рухомі частини виробничого обладнання (шнеки, вальці, приводи конвеєрів); підвищена запиленість повітря робочої зони (органічний пил від лущиння); підвищена температура поверхонь обладнання (жаровні, преси); підвищений рівень шуму та вібрації (дробарки, відцентрові фільтри); небезпека ураження електричним струмом.
- Хімічні: наявність у повітрі парів олії та можливих продуктів термічного розпаду при перегріві сировини.

З метою створення безпечних умов праці на підприємстві керуються Законом України «Про охорону праці», а також відповідними галузевими нормативними актами та стандартами.

4.2. Електробезпека при експлуатації електрообладнання

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом, згідно з ПУЕ, приміщення олійниці належить до приміщень з підвищеною небезпекою, оскільки тут наявні струмопровідний пил, волога (під час миття обладнання) та висока температура.

Для забезпечення надійного захисту обслуговуючого персоналу в даному кваліфікаційному проєкті реалізовано комплекс технічних рішень:

1. Захист від коротких замикань та перевантажень: Замість застарілих апаратів передбачено використання сучасних автоматичних вимикачів захисту двигунів (типу GV2). Як довели розрахунки струмів короткого замикання в розділі 2, струму однофазного КЗ достатньо для миттєвого (долі секунди) спрацювання

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						87
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електромагнітного розчіплювача, що гарантує швидке знеструмлення аварійної ділянки та захист персоналу від крокової напруги і напруги дотику.

2. Захисне заземлення (занулення): Усі металеві неструмопровідні частини електрообладнання (корпуси електродвигунів, шафи керування, металеві лотки, корпуси фільтрів) підлягають обов'язковому приєднанню до захисного РЕ-провідника (система заземлення TN-C-S).

3. Безпека ліній живлення: Внутрішня силова мережа цеху прокладається кабелем марки ВВГнг у захисних металевих гофрованих трубах, що захищає їх від механічних пошкоджень. Зовнішнє живлення від ТП виконано самоутримним ізольованим проводом СП-4, що унеможливорює ураження струмом при обриві чи схрещуванні ліній.

4.3. Виробнича санітарія та нормалізація мікроклімату

Для забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов праці на робочих місцях передбачено наступні заходи:

- Освітлення: У рамках модернізації реалізовано повну відмову від пульсуючих люмінесцентних ламп на користь сучасних LED-світильників (наприклад, Osram DampProofLED). Це рішення не лише підвищує енергоефективність, але й має критичне значення для охорони праці: світлодіоди повністю виключають стробоскопічний ефект. У цехах з обертовими механізмами (вальцьові верстати, преси) це запобігає оптичній ілюзії нерухомості деталей, яка є частою причиною важкого травматизму. Рівень освітленості в головному цеху доведено до нормованих 400 лк.

- Вентиляція: Для боротьби з пилом, парою та виділеннями теплоти передбачено припливно-витяжну вентиляцію. Над жаровнями, пресами та лініями очищення насіння встановлюються місцеві аспіраційні відсоси.

- Шум та вібрація: Для зниження впливу вібрації від масивних установок (відцентрові фільтри, насоси, дробарки) їх монтаж здійснюється на спеціальні віброгасильні опори (амортизатори). Впровадження пристроїв плавного пуску та частотно-регульованих приводів (ЧРП) додатково знижує акустичний шум двигунів під час їх запуску та роботи.

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						88
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4. Пожежна та вибухова безпека

Виробництво соняшникової олії методом пресування пов'язане з переробкою горючих матеріалів (насіння, макуха) та отриманням горючої рідини (олії). За пожежною небезпекою основні приміщення цеху відносяться до категорії В (пожежонебезпечні), а за класом вибухопожежонебезпечних зон (згідно з ПУЕ) — до класу П-Па (зони, де знаходяться в обігу тверді горючі речовини).

Протипожежні заходи, впроваджені в проєкті:

1. Вибір електрообладнання: Усі електродвигуни та світильники підібрані у закритому, пиловологозахищеному виконанні (ступінь захисту не нижче IP54).
2. Кабельна продукція: Використано виключно кабелі марки ВВГнг (що не поширюють горіння при груповій прокладці). Це локалізує можливе джерело займання в межах однієї лінії.
3. Герметичність процесів: Використання сучасних вертикальних пластинчастих фільтрів та мембранних технологій забезпечує повну герметичність системи циркуляції олії, що унеможливорює її протікання на гарячі поверхні чи електрообладнання.
4. Засоби пожежогасіння: Приміщення олійниці обладнується первинними засобами пожежогасіння: порошковими (ВП-5) та вуглекислотними (ВВК-2) вогнегасниками, ящиками з піском та кошмою. Використання води або пінних вогнегасників для гасіння олії та електроустановок під напругою категорично заборонено.

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						89
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

5.1. Економічне обґрунтування модернізації системи освітлення

Основним елементом підвищення економічної ефективності в даному проекті є повна заміна застарілих люмінесцентних ламп на сучасні енергоефективні LED-світильники. Незважаючи на вищу стартову вартість обладнання, довгострокова економія енергоресурсів робить цей перехід фінансово виправданим.

Таблиця 4.1

Порівняльні характеристики варіантів освітлення для цеху:

Параметр	Люмінесцентне освітлення (базове)	Світлодіодне освітлення (проектне)
Кількість світильників, шт.	57 (ЛСП 2x36)	65 (Osram 39W)
Споживана потужність одного світильника, Вт	~85	39
Загальна встановлена потужність (Р _{уст}), кВт	4,85	2,54
Вартість одного світильника (з лампами), грн	~400	~1200
Загальні капітальні вкладення, грн	22 800	78 000

Розрахунок експлуатаційних витрат: Річне споживання електроенергії (Р_{річ}) при 16-годинній роботі (2 зміни) протягом 365 днів:

Для LED: $16 \times 365 \times 2,535 = 14804,4$ кВт·год.

Для люмінесцентних: $16 \times 365 \times 4,85 = 28324$ кВт·год.

Річна оплата за електроенергію (С) при тарифі 9,00 грн/кВт·год:

Для LED: $14804,4 \times 9,00 = 133\,502,40$ грн.

Для люмінесцентних: $28324 \times 9,00 = 254\,916$ грн.

Економія витрат на оплату електроенергії становить: $254\,916 - 133\,502,40 = 121\,413,60$ грн/рік.

Термін окупності (токуп): Додаткові капітальні витрати (переплата) становлять $78\,000 - 22\,800 = 55\,200$ грн. $\text{токуп} = 55\,200 / 121\,413,6 \approx 0,45$ року (приблизно 5,5 місяців).

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						90
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдяки значному зростанню вартості електроенергії, термін окупності проекту скоротився з 3,36 року до менш ніж пів року. Враховуючи, що ресурс LED-світильника (50 000 год) у 25 разів перевищує ресурс люмінесцентних ламп (2 000 год), проєкт є високоефективним.

Враховуючи підготовку до виходу на відкритий ринок електроенергії, необхідно врахувати додаткові витрати на встановлення систем комерційного обліку та прогнозоване зростання вартості послуг з передачі. Прогнозований рівень інфляції на енергоносії у 2026 році може призвести до здорожчання тарифу ще на 15–20% протягом терміну експлуатації. Навіть впровадження енергоефективного LED-освітлення в таких умовах може діяти як фінансовий хедж: зменшуючи загальну встановлену потужність з 4,85 кВт до 2,54 кВт, підприємство суттєво знижує свою залежність від цінових коливань на ринку. Навіть при разових витратах на інтеграцію в ринкову інфраструктуру (близько 25 000–30 000 грн), економія від споживання перекриває ці витрати вже у перші 8–9 місяців роботи.

5.2. Додаткові фактори економічної вигоди

Поряд із прямою економією від модернізації системи освітлення, комплексна реконструкція електротехнологічного обладнання цеху формує низку додаткових, суттєвих факторів економічної вигоди. Вони спрямовані на зменшення загальних експлуатаційних витрат (ОРЕХ) підприємства. Додатковий економічний ефект досягається за рахунок наступних технічних рішень:

1. Застосування частотно-регульованого приводу (ЧРП) та енергоефективних двигунів (ІЕЗ):

- **Оптимізація роботи насосів:** Використання ЧРП замість традиційного механічного дроселювання потоку (механічними засувками) кардинально змінює баланс енергоспоживання. Відповідно до законів гідродинаміки, споживана потужність насоса має кубічну залежність від частоти обертання. При зниженні продуктивності до 80%, енергоспоживання падає до 51,2% від номіналу ($0.8^3 = 0.512$). Для цеху це дозволяє економити до 5467 кВт·год щомісяця на кожному потужному агрегаті.

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						91
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Зниження втрат у двигунах: Перехід на електродвигуни преміум-класу ІЕ3 забезпечує суттєве зниження магнітних та електричних втрат. Завдяки вищому ККД зменшується нагрів обмоток, що подовжує термін служби ізоляції та збільшує міжремонтні інтервали.

- Зменшення пускових навантажень: Відмова від прямого пуску ліквідує пускові удари струму (які зазвичай перевищують номінальні в 5-7 разів). Це запобігає глибоким посадам напруги в мережі та значно зменшує механічний знос підшипників, муфт і редукторів.

2. Модернізація ліній електропередач із використанням проводу СІП:

- Мінімізація електричних втрат: Використання самоутримних ізольованих проводів (СІП) знижує індуктивний опір магістралі приблизно в 2,5–3 рази порівняно з традиційними неізольованими проводами. Також повністю усуваються втрати енергії через струми витoku на ізоляторах (особливо під час опадів).

- Скорочення витрат на обслуговування: Ізоляція проводів унеможливорює виникнення коротких замикань при їх схрещуванні від поривів вітру. Впровадження ліній СІП дозволяє знизити експлуатаційні витрати на їх обслуговування до 80%.

3. Встановлення герметичного трансформатора серії ТМГ:

- Економія на обслуговуванні мастила: На відміну від стандартних трансформаторів із розширювальним баком, у трансформаторах ТМГ масло повністю герметизоване і не контактує з навколишнім повітрям.

- Відсутність профілактичних ремонтів: Це технічне рішення повністю виключає процеси окислення і зволоження трансформаторного масла. Відповідно, підприємство уникає регулярних витрат на відбір проб, заміну силікагелю та періодичну регенерацію масла протягом усього терміну служби підстанції.

4. Економічний ефект від впровадження АСУТП:

- Мінімізація людського фактора: Автоматизація на базі контролерів серії ADAM-8000 та систем SCADA оптимізує технологічний цикл фільтрації, знижує відсоток можливого браку продукції та ризик аварійних розливів олії.

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						92
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Оптимізація тарифного розкладу: Сучасна система керування в комплексі з електронним комерційним обліком електроенергії дозволяє перенести виконання найбільш енергоємних процесів на нічні зміни. Це дає можливість підприємству розраховуватися за електроенергію за значно дешевшим нічним тарифом.

Підсумовуючи, комплекс зазначених заходів не лише знижує прямі витрати на оплату спожитих кіловат-годин, але й докорінно зменшує амортизаційні та ремонтні витрати підприємства, що робить проєкт високорентабельним та стійким до ринкових коливань вартості енергоносіїв.

5.3 Оцінка вартості життєвого циклу обладнання

Використання методики оцінки вартості життєвого циклу дозволяє вийти за межі простого порівняння цінників у прайс-листах і побачити реальну економічну ефективність інженерних рішень. У сучасній енергетиці початкові витрати на придбання обладнання становлять лише вершину айсберга, тоді як основна фінансова маса прихована в операційних видатках протягом десятиліть експлуатації. Це особливо актуально для олійного виробництва, де двигуни пресів та насосів працюють у важких режимах з високим коефіцієнтом завантаження.

На стратегічному рівні перехід до моделі аналізу вартості життєвого циклу означає зміну парадигми від економії тут і зараз до максимізації чистого прибутку в довгостроковій перспективі. Коли ми обираємо між стандартним двигуном класу IE1 та високоефективним аналогом класу IE3, ми фактично інвестуємо в менші втрати енергії, які з часом не лише перекривають різницю в ціні, а й приносять чистий дохід. Для систем автоматизації на основі контролерів серії АДАМ такий підхід також враховує вартість можливих простоїв лінії, де надійність заліза напряду конвертується у збережені кошти підприємства.

З технічної точки зору розрахунок базується на сумуванні капітальних інвестицій, витрат на спожиту електроенергію, технічне обслуговування та подальшу утилізацію. Основним параметром тут виступає енергетична складова, яка для потужних приводів може сягати понад дев'яносто відсотків від загальної вартості життєвого циклу. Використання частотного регулювання кардинально

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						93
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змінює профіль цих витрат, оскільки адаптація обертів двигуна до реальних потреб фільтрувальної установки дозволяє уникати роботи в режимах з низьким ККД.

Економічне обґрунтування доцільності модернізації найкраще відображає інтегральний показник, який враховує дисконтування грошових потоків. Це дає змогу оцінити реальну вартість грошей у часі та зрозуміти, наскільки стійким є проєкт до інфляційних процесів чи коливань тарифів. У результаті такого аналізу стає очевидним, що найбільш дешеве при закупівлі обладнання часто виявляється найбільш збитковим у тривалій експлуатації через високу енергоємність та часті ремонти.

Для математичного опису цієї моделі використовується наступна формула:

$$LCC = C_{cap} + C_{en} + C_m + C_d - C_{res}$$

де:

- C_{cap} — капітальні витрати на придбання та монтаж;
- C_{en} — вартість спожитої енергії за весь період служби;
- C_m — витрати на сервіс, ремонт та запчастини;
- C_d — збитки від вимушених технологічних простоїв;
- C_{res} — залишкова вартість обладнання після виведення з експлуатації.

Нижче наведено порівняльну оцінку для типового асинхронного двигуна потужністю 5,5 кВт протягом 10 років експлуатації.

Таблиця 4.2

Порівняння вартості життєвого циклу двигунів класів IE1 та IE3

Стаття витрат	Базовий двигун (IE1)	Високоєфективний (IE3 + ЧРП)	Ефект від модернізації
Капітальні вкладення (CAPEX)	12 500 грн	38 000 грн	Збільшення витрат на 25 500 грн
Енергоспоживання (10 років)	1 150 000 грн	760 000 грн	Економія 390 000 грн
Обслуговування та ремонти	18 000 грн	12 000 грн	Економія 6 000 грн
Ризики аварійних простоїв	Високі	Мінімальні	Підвищення стабільності

Загальна вартість (LCC)	1 180 500 грн	810 000 грн	Загальна вигода 370 500 грн
------------------------------------	--------------------------	--------------------	--

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						95
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено комплексне дослідження та розробку питань електропостачання, електрообладнання та автоматизації цеху з виробництва соняшникової олії з акцентом на підвищення енергоефективності. Впровадження інноваційних електротехнічних рішень дозволило мінімізувати витрати енергоресурсів на кожну тонну готової продукції та вирішити такі завдання:

1. **Модернізація електротехнологічного обладнання.** Проведено детальний аналіз технологічного циклу, що дозволило ідентифікувати найбільш енергоємні вузли. Обґрунтовано перехід на використання електродвигунів преміум-класу енергоефективності стандарту IE3 для головних приводів пресів та насосних установок. Для захисту мереж обрано сучасну комутаційну апаратуру та мотор-автомати серії GV2, що знизило власне енергоспоживання систем керування та підвищило надійність захисту.

2. **Оптимізація системи електропостачання.** Розроблено надійну схему зовнішнього та внутрішнього електропостачання. Обґрунтовано використання герметичного силового трансформатора серії ТМГ-160, який не потребує періодичного обслуговування масла. Застосування самоутримних ізольованих проводів СІП-4 дозволило радикально знизити індуктивний опір магістралей. Підсумковий розрахунок підтвердив, що загальні втрати електроенергії в мережі 0,38 кВ вдалося утримати на оптимальному рівні — 10,6%.

3. **Автоматизація технологічних процесів.** Доведено критичну залежність енергоспоживання насосних агрегатів від реологічних властивостей олії. Впровадження частотно-регульованого приводу (ЧРП) забезпечило перехід від неефективного дросельного регулювання до оптимізації кутової швидкості, що скорочує споживання енергії майже вдвічі при часткових навантаженнях. Побудована система АСУТП на базі промислових контролерів ADAM-8000 гарантує високу точність підтримки технологічних параметрів та мінімізує вплив людського фактора.

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						96
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. **Техніко-економічна ефективність.** Розрахунки підтвердили надзвичайно високу рентабельність запропонованих рішень. Повна заміна застарілих люмінесцентних ламп на промислові LED-світильники забезпечує термін окупності проєкту менше пів року (близько 0,45 року) за рахунок радикального зниження споживаної потужності. Загалом комплексна модернізація цеху дозволяє підвищити енергоефективність підприємства на 34%.

5. **Охорона праці та безпека експлуатації.** Запропоновані технічні рішення повністю відповідають чинним нормативним актам України з охорони праці та пожежної безпеки. Розрахована петля «фаза-нуль» гарантує миттєве відключення пошкоджених ділянок при аварійних режимах. Використання негорючих кабелів ВВГнг, закритих двигунів та LED-освітлення (без стробоскопічного ефекту) суттєво підвищило рівень виробничої безпеки персоналу.

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						97
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 4492:2017. Олія соняшникова. Технічні умови. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 24 с.
2. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Офіційне видання. Харків : Форт, 2017. 760 с.
3. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НПАОП 40.1-1.21-98). Київ : Основа, 1998. 386 с.
4. IEC 60034-30-1:2014. Rotating electrical machines – Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code). Geneva : International Electrotechnical Commission, 2014. 40 p.
5. Gunstone F. D. Vegetable Oils in Food Technology: Composition, Properties and Uses. 2nd ed. Wiley-Blackwell, 2011. 360 p.
6. Hughes A., Drury B. Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications. 5th ed. Newnes, 2019. 488 p.
7. O'Brien L. Industrial automation: Trends and technologies for modern manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 2020. Vol. 56. P. 120–135.
8. Pivnyak G., Volkov A., Shirin L. Energy Efficiency Improvement of Electrical Equipment and Supply Systems. CRC Press, 2015. 278 p.
9. Saidur R., Mekhilef S., Ali M. B., Safari A., Mukhtar H. A. Energy saving and emissions reduction potentials of variable speed drive (VSD) applications in pumps and fans. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012. Vol. 16, no. 4. P. 2268–2279.
10. Stevanović M., Prica M., Živanov M. Achieving Energy Efficiency With LED Lighting. *Journal of Applied Engineering Science*, 2022. Vol. 20, no. 4. P. 1145–1151.
11. Zagirnyak M., Mamchur D., Kalinov A. Analysis of energy efficiency of electric drives with induction motors. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2021. No. 3. P. 15–21.
12. Nosenko T., et al. Study on antioxidants extraction and their use for oxidation stability of sunflower oil. *Ukrainian Food Journal*, 2021. Vol. 10, no. 3. P. 500–511.
13. Zhezhelenko I. V., et al. Assessment of electricity losses in distribution networks with non-linear loads. *Technical Electrodynamics*, 2020. No. 4. P. 55–60.

					02.03.-КР.2708"С".2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						98
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Babenko N., et al. Influence of commercial refining on some quality attributes of sunflower oil. Ukrainian Food Journal, 2018. Vol. 7, no. 2. P. 256–265.

15. Demchenko V., et al. Development of the automated control system for the pumping complex. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2019. Vol. 2, no. 9 (98). P. 14–22.

					02.03.-КР.2708”С”.2025.11.07.005.ПЗ	Арк.
						99
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		