

Міністерство освіти і науки України
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Навчально-науковий інститут комп'ютерної інженерії, автоматизації,
робототехніки та програмування ім. П.М. Платонова

**Кафедра автоматизації технологічних, електромеханічних і
робототехнічних систем**



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**на тему «УДОСКОНАЛЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА
ПЛАВНОСТІ ПУСКУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ
ФЕКАЛЬНИХ НАСОСІВ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ»**

Здобувач СВО «Бакалавр»: Кучеренко Василь Олегович
Студент групи АЕМзт-11

Керівник: Москалюк Андрій Юрійович,
к.т.н., доцент

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 16.06.2026 р., протокол № 8.

в.о. Завідувача кафедри АТЕіРС
(назва кафедри) (підпис)

Олексій Жигайло
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Одеса – 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут: *Комп'ютерної інженерії, автоматизації, робототехніки та програмування ім.*

П.М.Платонова

Кафедра: *Електромеханіки та мехатроніки*

Рівень ВО: *перший*

Ступень ВО: *бакалавр*

Галузь знань: *14 – Електрична інженерія*

Спеціальність: *141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка*

Освітня програма: *Інтелектуально-керовані електромеханічні системи*

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри ЕтаМ

Осадчук П.І.

«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

здобувача СВО «Бакалавр» АЕМзт – 11 Кучеренко Василя Олеговича

1. Тема роботи: «Удосконалення надійності та плавності пуску електроприводів фекальних насосів каналізаційних станцій»

Керівник роботи: Москалюк Андрій Юрійович, к.т.н., доцент.

Затверджено наказом ОНТУ № 641-03 від 21.12.2025 р.

2. Срок подання студентом роботи: 15.06.2026 р.

3. Вхідні дані до проекту: технічні характеристики насосного агрегату з асинхронним електродвигуном 4A200M2Y, напруга живлення 380 В, частота струму 50 Гц, номінальна швидкість обертання 2950 об/хв, номінальний струм статора 78.07 А; параметри Т-подібної схеми заміщення: $R_1 = 0.0284$ Ом, $R_2' = 0.0205$ Ом, $L_1 = 0.0375$ Гн, $L_2 = 0.0377$ Гн, $L_m = 0.0367$ Гн; обґрунтувати параметри плавного пуску та частотного керування електропривода фекального насоса каналізаційної станції.

4. Зміст розрахунково-конструкторської частини пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз особливостей роботи фекальних насосів каналізаційних станцій; існуючі електроприводи насосів тяговими двигунами; розрахунок основних параметрів тягового асинхронного двигуна і потужності електроприводу; розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення двигуна; моделювання електроприводу; дослідження режимів обмеження струмів пуску; техніко-економічне обґрунтування, охорона праці

5. Перелік демонстраційного матеріалу. Слайди презентації: 1. Титульний слайд. 2. Актуальність теми, об'єкт проектування, мета і завдання роботи; 3. Особливості роботи електроприводів насосів, 4. Проблеми надійності та пускових режимів. 5. Вплив плавного пуску електропривода. 6. Розрахунок параметрів насосного агрегату. 7. Розрахунок пускових струмів і моментів. 8. Вибір пристрою плавного пуску. 9. Математична модель електропривода. 10. Результати моделювання плавного пуску. 11. Економічний ефект і охорона праці. 12. Загальні висновки роботи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Москалюк А.Ю., доц.		
Економічна частина	Москалюк А.Ю., доц.		

7. Дата видачі завдання: 15.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ
ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів	Прим
1	1 Загальна характеристика роботи: вибір об'єкта проектування, аналіз роботи фекальних насосів у системі каналізаційних станцій. Актуальність теми, об'єкт і мета роботи.	05.03.2026	
2	2 Аналіз електроприводів насосних установок: розгляд конструкції та умов експлуатації фекальних насосів, класифікація електроприводів, визначення основних проблем надійності та впливу пускових режимів на обладнання.	10.04.2026	
3	3. Розрахункова частина: визначення параметрів насосних агрегатів, розрахунок пускових струмів, моментів і втрат, вибір пристрою плавного пуску та елементів силової частини.	10.05.2026	
4	Дослідження режимів роботи електропривода на ЕОМ: розроблення математичної моделі насосної установки, моделювання плавного пуску при зміні частоти, аналіз результатів і оцінка впливу запропонованого рішення на надійність обладнання.	25.05.2026	
5	5. Економічна частина: розрахунок загального економічного ефекту та супутнього позитивного ефекту від підвищення надійності електроприводів насосних установок.	13.06.2026	
6	6. Частина з охорони праці: аналіз умов експлуатації насосного обладнання, розрахунок системи заземлення електроагрегатів, розроблення заходів з електробезпеки та покращення умов праці.	15.06.2026	
7	Рецензування роботи	19.06.2026	
8	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра.	23.06.2026	

Здобувач: Кучеренко В.О. _____

Керівник: Москалюк А.Ю. _____

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ. Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник _____ Кучеренко В.О.

Реферат

КУЧЕРЕНКО В.О. «УДОСКОНАЛЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ПЛАВНОСТІ ПУСКУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ФЕКАЛЬНИХ НАСОСІВ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ». Кваліфікаційна робота бакалавра. – Одеса: ОНТУ, 2026. – 89 с. Бібліогр.: 19 найм. Слайдів презентаційної частини – 17.

У кваліфікаційній роботі розглянуто удосконалення електропривода фекального насоса каналізаційної станції; визначено параметри електропривода, побудовано механічні характеристики асинхронного двигуна та змодельовано перехідні процеси під час пуску.

Запропоновано технічне рішення для зниження пускових струмів, обмеження динамічних навантажень і підвищення надійності насосного агрегату. У роботі також наведено заходи з охорони праці та економічне обґрунтування впровадження.

Ключові слова: електропривод, асинхронний двигун, насосна установка, плавний пуск, пускові струми, надійність, каналізаційна станція.

Referee

KUCHERENKO V.O. “IMPROVEMENT OF RELIABILITY AND SMOOTH STARTING OF ELECTRIC DRIVES OF SEWAGE PUMPS AT SEWER PUMPING STATIONS”. Bachelor’s qualification thesis. – Odesa: ONTU, 2026. – 89 p. Bibliography: 19 items. Presentation slides – 14.

The qualification work considers the improvement of the electric drive of a sewage pump at a sewer pumping station; the electric drive parameters are determined, the mechanical characteristics of the induction motor are constructed, and starting transients are simulated.

A technical solution is proposed to reduce starting currents, limit dynamic loads, and improve the reliability of the pumping unit. The work also presents occupational safety measures and economic justification for implementation.

Keywords: electric drive, induction motor, pumping unit, soft start, starting currents, reliability, sewage pumping station.

3MICT

	стр.
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ФЕКАЛЬНИХ НАСОСІВ ТА ЇХ РОБОТИ У СИСТЕМІ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ.	9
1.1 Актуальність застосування фекальних насосів у системах каналізаційних станцій	9
1.2 Загальна характеристика та класифікація насосних установок і електроприводів	10
1.3 Особливості роботи фекальних насосів каналізаційних станцій	16
1.4 Проблеми надійності фекальних насосів каналізаційних станцій	22
Висновки до розділу 1	34
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ПЛАВНОГО ПУСКУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	35
2.1. Розрахунок та вибір основних параметрів насосних агрегатів	35
2.2. Розрахунок пускових струмів, моментів і втрат.	40
2.3. Вибір пристрою плавного пуску та елементів силової частини	45
2.4. Оцінка впливу плавного пуску на надійність системи	50
Висновки до розділу 2	56
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ЗМІНІ ЧАСТОТИ	57
3.1. Розроблення математичної моделі електропривода насосної установки	57
3.2. Моделювання плавного пуску при зміні частоти	58

					КРБ.АТЕіРС.141.641-03.3.3						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Кучеренко В.О.			Удосконалення надійності та плавності пуску електроприводів фекальних насосів каналізаційних станцій			Літ	Аркуш	Аркушів	
Керівни		Москалюк А.Ю								5	89
								ОНТУ, АЕМзт - 11			
Консульт.											
Зав.кафедри		Жигайло О.М.									

3.3. Аналіз результатів моделювання та оцінка ефективності запропонованого рішення	68
Висновки до розділу 3	74
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	75
4.1 Організація та управління охороною праці	75
4.2 Аналіз умов праці на робочих місцях, електро- та пожежної безпеки	78
4.3 Заходи з охорони праці	81
4.5. Висновки до розділу 4	83
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	84
5.1 Розрахунок капітальних витрат	84
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	86
5.3 Річна економічна ефективність впровадження	87
5.5 Супутні вигоди від реалізації запропонованого рішення	88
5.5. Висновки до розділу 5	90
ВИСНОВКИ	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	92

ВСТУП

Системи водовідведення є важливою складовою міської інфраструктури, а їх надійна робота безпосередньо залежить від технічного стану насосних станцій. Одними з основних елементів таких об'єктів є фекальні насоси, які забезпечують перекачування стічних вод із різним складом і рівнем забруднення. Електроприводи насосних агрегатів працюють у складних умовах, що супроводжуються частими пусками, змінним навантаженням і підвищеними вимогами до безперервності технологічного процесу.

Під час прямого пуску асинхронного двигуна виникають значні пускові струми та динамічні навантаження. Це призводить до додаткового нагрівання обмоток двигуна, механічних навантажень на насосне обладнання, прискореного зношування комутаційної апаратури та зниження надійності системи загалом.

Одним із ефективних напрямів удосконалення електропривода є застосування пристроїв плавного пуску та частотного керування.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення надійності та плавності пуску електроприводів фекальних насосів каналізаційних станцій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати особливості роботи фекальних насосів і їх електроприводів; визначити основні причини зниження надійності обладнання; розрахувати параметри насосного агрегату, пускові струми та моменти; обрати пристрій плавного пуску та елементи силової частини; розробити математичну модель електропривода; провести моделювання режимів плавного пуску при зміні частоти.

Об'єктом дослідження є електропривод фекального насоса каналізаційної станції. Предметом дослідження є режими пуску асинхронного двигуна та способи зменшення пускових струмів і динамічних навантажень.

Практичне значення роботи полягає у можливості застосування запропонованих рішень для підвищення надійності насосних агрегатів, зменшення аварійності та зниження експлуатаційних витрат каналізаційних станцій.

					КРБ. АТЕРС.141.641-03.6.4	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

ВСТУП

Каналізаційні станції є важливими елементами систем водовідведення, а надійність їх роботи безпосередньо впливає на безперервність відведення стічних вод, санітарний стан територій та екологічну безпеку. Одним із основних вузлів таких станцій є електроприводи фекальних насосів, від працездатності яких залежить ефективність роботи всієї насосної установки.

Електроприводи фекальних насосів працюють у складних умовах, що характеризуються змінним навантаженням, підвищеною вологістю та необхідністю частих пусків і зупинок. Найбільш напруженим режимом роботи є пуск асинхронного двигуна, під час якого виникають значні пускові струми та механічні перевантаження. Це призводить до нагрівання обмоток, прискореного зносу елементів привода та зниження надійності насосного агрегату.

У зв'язку з цим актуальним є удосконалення плавності пуску електроприводів фекальних насосів каналізаційних станцій. Застосування технічних рішень, спрямованих на обмеження пускових струмів і зменшення динамічних навантажень, дозволяє покращити умови роботи обладнання, підвищити його ресурс та знизити імовірність аварійних відмов.

Метою дипломної роботи є підвищення надійності та плавності пуску електроприводів фекальних насосів каналізаційних станцій шляхом аналізу пускових режимів, розрахунку параметрів електропривода та моделювання його роботи.

Для досягнення поставленої мети в роботі розглянуто особливості роботи насосних установок, виконано розрахунок параметрів електропривода, досліджено пускові режими асинхронного двигуна, проведено моделювання перехідних процесів, розглянуто питання охорони праці та виконано економічне обґрунтування запропонованого рішення.

Об'єктом дослідження є електропривод фекального насоса каналізаційної станції. Предметом дослідження є пускові режими асинхронного електропривода та способи підвищення надійності його роботи.

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ФЕКАЛЬНИХ НАСОСІВ ТА ЇХ РОБОТИ У СИСТЕМІ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ.

1.3 Актуальність застосування фекальних насосів у системах каналізаційних станцій

Системи каналізаційних станцій є невід'ємною складовою сучасної інженерної інфраструктури населених пунктів, промислових підприємств і комунальних об'єктів. Їх основним призначенням є забезпечення безперервного відведення, перекачування та транспортування стічних вод до очисних споруд або до наступних ділянок каналізаційної мережі. У тих випадках, коли самотічне відведення стоків є неможливим через рельєф місцевості, значну протяжність трубопроводів, недостатній ухил мережі або особливості планування об'єкта, застосування насосного обладнання стає технічно необхідним. Саме тому фекальні насоси посідають важливе місце у структурі каналізаційних станцій, забезпечуючи стабільність санітарного стану територій, безпеку експлуатації об'єктів і безперервність функціонування систем водовідведення.

Актуальність застосування фекальних насосів зумовлена насамперед специфікою середовища, з яким вони працюють. На відміну від насосів для чистої або слабкозабрудненої води, фекальні насоси призначені для перекачування стічних вод із домішками, механічними включеннями, волокнистими частинками та органічними забрудненнями. Такі умови роботи є більш складними з точки зору механічного навантаження, зношування робочих органів, імовірності засмічення та нестабільності гідравлічних режимів. Унаслідок цього до насосного агрегата та його електропривода висуваються підвищені вимоги щодо надійності, стійкості до перевантажень і здатності працювати в повторно-короткочасних або важких пускових режимах.

Особливе значення фекальні насоси мають у системах каналізаційних станцій житлово-комунального господарства, де від їх працездатності

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безпосередньо залежить санітарно-епідеміологічний стан об'єкта. Відмова насосного агрегата, зупинка електропривода або порушення режиму пуску можуть спричинити переповнення приймальних резервуарів, затоплення технологічних приміщень, аварійний викид стічних вод, забруднення навколишнього середовища та необхідність термінового ремонту. Таким чином, експлуатація каналізаційної станції вимагає не лише достатньої продуктивності насосів, а й високої експлуатаційної надійності всієї електромеханічної системи.

Слід зазначити, що ефективність роботи фекального насоса значною мірою визначається не лише його гідравлічними параметрами, а й характеристиками електропривода. Електродвигун і система пуску формують динаміку розгону насосного агрегата, величину пускового струму, ударного моменту, інтенсивність нагріву обмоток та навантаження на механічні елементи. Для насосних установок каналізаційних станцій це має особливе значення, оскільки запуск часто відбувається в умовах змінного рівня стоків, нерівномірного навантаження та потреби у повторних увімкненнях протягом доби. За прямого пуску асинхронного двигуна виникають значні струмові та механічні перевантаження, які негативно впливають як на сам електродвигун, так і на насос, муфти, арматуру та трубопровідну систему.

У сучасних умовах підвищення вимог до енергоефективності, надійності та довговічності обладнання проблема удосконалення пускових режимів електроприводів фекальних насосів набуває особливої актуальності. Традиційний прямий пуск, незважаючи на простоту реалізації, не завжди забезпечує допустимий рівень електродинамічних і теплових навантажень. Це призводить до прискореного старіння ізоляції обмоток, зростання ймовірності міжвиткових замикань, підвищеного зношування підшипникових вузлів і зменшення загального ресурсу насосного агрегата. Окрім того, різкий розгін насоса може викликати небажані гідравлічні явища в напірному трубопроводі, що додатково знижує надійність системи.

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Саме тому застосування технічних рішень, спрямованих на забезпечення плавного пуску електропривода, є важливим напрямом удосконалення роботи каналізаційних станцій. Плавний пуск дає змогу обмежити пусковий струм, зменшити ударний електромагнітний момент, знизити нагрів електродвигуна та забезпечити більш м'який вихід насосного агрегата на робочий режим. У результаті зменшується навантаження на елементи силової частини, механічну передачу, насосне колесо та трубопровідну мережу. Це створює передумови для підвищення експлуатаційної надійності, зменшення кількості відмов і скорочення витрат на технічне обслуговування та ремонт.

Актуальність обраної теми дипломної роботи визначається необхідністю підвищення надійності електроприводів фекальних насосів каналізаційних станцій за рахунок удосконалення пускових режимів. Розгляд цієї проблеми має не лише технічне, а й практичне значення, оскільки дозволяє поєднати вимоги санітарної безпеки, енергетичної доцільності та безперервності функціонування систем водовідведення. Отже, дослідження особливостей пуску електроприводів фекальних насосів і розроблення рішень, спрямованих на забезпечення його плавності, є актуальним і обґрунтованим завданням для сучасних каналізаційних станцій.

1.4 Загальна характеристика та класифікація насосних установок і електроприводів

Насосні установки є одними з найбільш поширених електромеханічних систем у комунальному господарстві, промисловості, водопостачанні та водовідведенні. Їх призначення полягає у переміщенні рідинного середовища з однієї точки системи в іншу із забезпеченням необхідної подачі, напору та стабільності технологічного процесу. У системах каналізаційних станцій насосна установка виконує особливо відповідальну функцію, оскільки від її роботи залежить безперервність перекачування стічних вод, запобігання переповненню резервуарів і дотримання санітарних вимог. Саме тому під час розгляду фекальних насосів доцільно аналізувати не лише окремий насос, а

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

всю насосну установку як сукупність гідравлічної, електромеханічної та керуючої частин.

У загальному випадку насосна установка включає насосний агрегат, електродвигун, систему пуску та керування, трубопровідну мережу, запірно-регулюючу арматуру, зворотні клапани, датчики тиску, рівня або витрати, а також допоміжні пристрої захисту і сигналізації. Насосний агрегат перетворює механічну енергію обертання вала на енергію потоку рідини, а електропривод забезпечує створення необхідного моменту на валу та формує режим розгону, роботи і зупинки агрегата. Тому ефективність насосної установки визначається узгодженістю гідравлічних параметрів насоса з характеристиками електродвигуна і способом його керування.

Для систем каналізаційних станцій найбільш характерною є робота в умовах змінного навантаження. Це пов'язано з нерівномірністю надходження стоків протягом доби, змінним рівнем рідини у приймальних резервуарах, можливістю періодичних перевантажень та необхідністю повторних пусків. У таких умовах насосна установка повинна забезпечувати не лише номінальну подачу, але й достатню пускову здатність, стійкість до перевантажень, механічну міцність та надійну роботу при впливі агресивного середовища. Саме тому при аналізі насосних установок важливо враховувати як конструкцію насоса, так і тип застосованого електропривода.

За функціональним призначенням насосні установки можна поділити на установки для чистої води, дренажні, циркуляційні, каналізаційні та спеціальні технологічні. У даній роботі основний інтерес становлять каналізаційні насосні установки, призначені для перекачування побутових, промислових і змішаних стічних вод, що можуть містити тверді домішки, волокнисті включення та інші механічні частинки. Ця особливість суттєво впливає на конструкцію насосної частини, яка повинна забезпечувати проходження забрудненого середовища без частого засмічення.

За конструкцією насоси, що використовуються у насосних установках, поділяють на відцентрові, вихрові, осьові, діагональні, шнекові та спеціальні

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фекальні. Найбільшого поширення у каналізаційних станціях набули відцентрові фекальні насоси, оскільки вони забезпечують достатню подачу, порівняно просту конструкцію і придатність до роботи зі стічними водами. Для складних умов перекачування можуть застосовуватися насоси з відкритим робочим колесом, вільновихрові конструкції, а також насоси з подрібнювачем, які забезпечують руйнування великих включень перед подачею у напірний трубопровід.

За способом установлення розрізняють поверхневі, напівзанурені та занурювальні насосні установки. Поверхневі установки є зручними для технічного обслуговування, однак вимагають відповідної організації всмоктувальної лінії та захисту від затоплення. Занурювальні фекальні насоси широко застосовуються у приймальних резервуарах і прямках, оскільки мають компакту конструкцію, зменшують довжину всмоктувальної ділянки та забезпечують зручне компонування станції. Разом з тим умови їх охолодження, герметичності та електробезпеки потребують особливої уваги до конструкції електродвигуна і системи захисту.

У технічному відношенні насосна установка повинна розглядатися як єдина система, у якій гідравлічні та електромеханічні параметри взаємопов'язані. Залежно від потрібної подачі Q , напору H , густини рідини ρ і коефіцієнта корисної дії η орієнтовну потужність на валу насоса визначають за співвідношенням:

$$P = \frac{\rho g Q H}{\eta} \quad (1.1)$$

де g — прискорення вільного падіння, м/с²

Із цієї залежності видно, що вибір електродвигуна безпосередньо залежить від параметрів насосної частини. Водночас режим пуску електродвигуна визначає, наскільки плавно насосний агрегат вийде на робочу частоту обертання, якими будуть пусковий струм, ударний момент і динамічне навантаження на трубопровідну систему.

На рисунку 1.1 показано узагальнену структуру насосної установки, у якій виділено основні елементи гідравлічної та електроприводної частин, що

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спільно забезпечують перекачування стічних вод у системі каналізаційної станції.

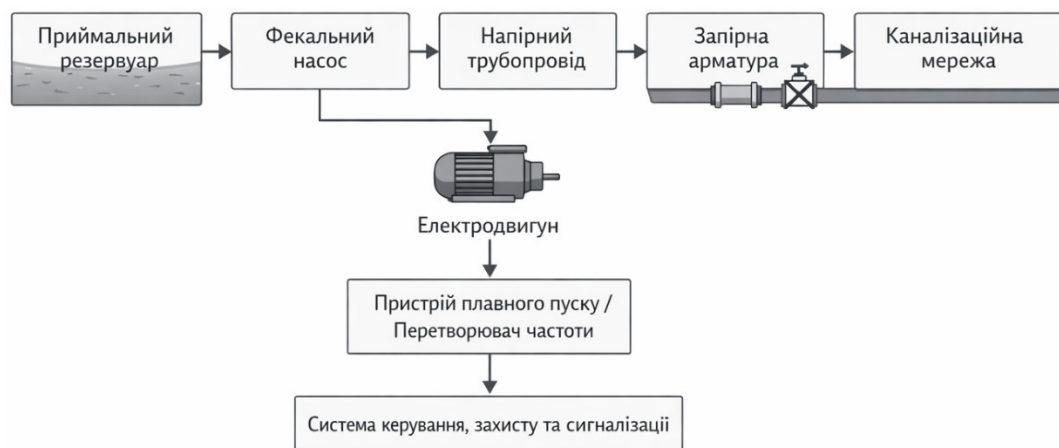


Рис. 1.1 Структура насосної установки

Як видно зі схеми на рисунку 1.1, насосна установка є не окремим насосом, а комплексом взаємопов'язаних елементів. Надійність її роботи визначається не лише правильно підібраним насосом, але й параметрами електропривода, способом пуску, станом силової частини та якістю системи керування. Для фекальних насосів це особливо важливо, оскільки важкі умови перекачування створюють підвищені вимоги до плавності розгону і стійкості електромеханічної системи.

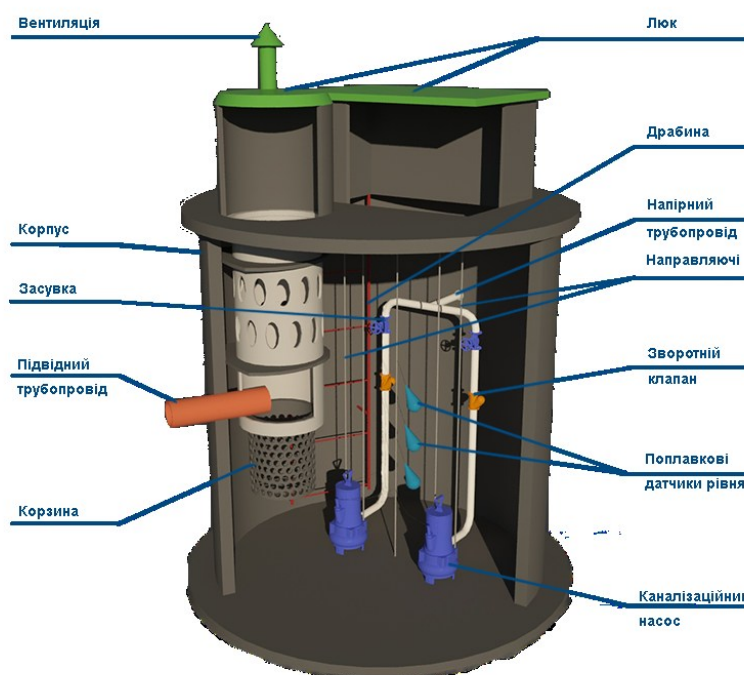


Рис. 1.2 Загальний вигляд установки

Електроприводи насосних установок також підлягають класифікації. За типом двигуна вони можуть бути виконані на базі асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, асинхронних двигунів зі спеціальними пусковими характеристиками, синхронних двигунів та, значно рідше, двигунів постійного струму. У комунальних насосних установках переважають асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, що пояснюється їхньою простотою, надійністю, невисокою вартістю та відносною невибагливістю в обслуговуванні.

За способом керування електроприводи насосних установок можна поділити на нерегульовані та регульовані. Нерегульований електропривод працює, як правило, у режимі прямого підключення до мережі або із застосуванням обмежених пускових пристроїв. Такий варіант є простішим, але має суттєвий недолік у вигляді великих пускових струмів і ударних моментів. Регульований електропривод передбачає використання пристрою плавного пуску або перетворювача частоти. У першому випадку досягається зменшення струмового та механічного перевантаження під час запуску, а в другому — додатково забезпечується регулювання швидкості, подачі та енергоефективності.

Для узагальнення класифікаційних ознак насосних установок і електроприводів доцільно використати таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні класифікаційні ознаки насосних установок і електроприводів

Ознака класифікації	Різновиди	Коротка характеристика
За призначенням насосної установки	водопровідні, дренажні, циркуляційні, каналізаційні	Каналізаційні установки призначені для перекачування стічних вод і працюють у важких умовах
За типом насоса	відцентрові, вихрові, осьові, шнекові, фекальні спеціального виконання	Для каналізаційних станцій найчастіше застосовують відцентрові фекальні насоси
За способом установлення	поверхневі, напівзанурені, занурювальні	Занурювальні конструкції поширені в прямках і резервуарах каналізаційних станцій

За типом електродвигуна	асинхронні, синхронні, двигуни постійного струму	Найбільш поширеними є асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором
За способом пуску	прямий пуск, зірка–трикутник, автотрансформаторний, плавний пуск, частотний пуск	Для підвищення надійності доцільним є використання плавного пуску
За способом керування	нерегульовані, регульовані	Регульований привід дозволяє покращити динаміку пуску та робочі режими
За кількістю насосних агрегатів	одиначні, групові, з резервним агрегатом	На каналізаційних станціях часто передбачають резерв для підвищення надійності

З таблиці 1.1 видно, що найбільш доцільним для каналізаційних станцій є застосування фекальних насосних установок з асинхронним електродвигуном і пристроями, які забезпечують покращені пускові характеристики. Така комбінація поєднує відносну конструктивну простоту, доступність обладнання та можливість реалізації технічних заходів, спрямованих на зниження перевантажень у перехідних режимах.

Окремо слід підкреслити, що вибір електропривода для насосної установки не може ґрунтуватися лише на номінальній потужності. Не менш важливими є пускова здатність двигуна, допустима кратність пускового струму, тривалість розгону, теплова стійкість обмоток, умови охолодження, клас захисту, а також сумісність із засобами плавного пуску або частотного керування. Для фекальних насосів ці вимоги набувають особливої ваги, оскільки важке перекачуване середовище й повторювані пуски формують режим експлуатації, близький до напруженого.

Отже, насосні установки каналізаційних станцій є складними електромеханічними системами, у яких гідравлічна частина, електродвигун, силова схема та система керування утворюють єдиний функціональний комплекс. Їх класифікація за призначенням, конструкцією, способом установлення та типом електропривода дає змогу обґрунтовано підійти до вибору технічного рішення для конкретних умов експлуатації. Для фекальних насосів найбільш доцільним є використання таких електроприводів, які забезпечують не лише необхідну потужність, а й зниження пускових

перевантажень, що безпосередньо пов'язано з підвищенням надійності всієї насосної установки.

1.3 Особливості роботи фекальних насосів каналізаційних станцій

Фекальні насоси каналізаційних станцій належать до спеціалізованих насосних агрегатів, які працюють у суттєво складніших умовах, ніж насоси систем чистого водопостачання. Їх експлуатація пов'язана з перекачуванням стічних вод, що містять тверді, волокнисті, органічні та мінеральні включення, а також із необхідністю забезпечення безперервної роботи системи водовідведення. Саме тому особливості функціонування фекальних насосів визначаються не лише їхніми гідравлічними параметрами, а й режимами навантаження, умовами пуску, конструктивним виконанням насосного агрегата та характеристиками електропривода.

На відміну від звичайних насосів, фекальні насоси працюють із рідинами, властивості яких можуть змінюватися в широких межах. У практичних умовах каналізаційної станції склад стоків не є сталим: змінюються густина, в'язкість, вміст завислих речовин, наявність волокнистих домішок, піску, мулу та побутових відходів. У результаті момент опору на валу насоса виявляється нестабільним, а умови запуску і розгону електропривода можуть бути значно важчими, ніж у насосів для перекачування чистої води. Це означає, що фекальний насос необхідно розглядати як агрегат, для якого критично важливими є не лише номінальна подача і напір, а й стійкість до перевантажень, здатність до повторних пусків та працездатність у несприятливому середовищі.

Однією з головних особливостей роботи фекальних насосів є нерівномірність навантаження у часі. Надходження стоків на каналізаційну станцію залежить від режиму споживання води населенням, добової нерівномірності, роботи промислових об'єктів, атмосферних опадів та технічного стану мережі. У певні години доби притік стоків різко зростає, а в інші — зменшується. Тому насосні агрегати часто працюють у повторно-

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

короткочасних режимах, із багаторазовими ввімкненнями та вимкненнями. Для електропривода це означає, що пусковий режим стає одним із найбільш відповідальних з точки зору теплового та механічного навантаження.

Іншою характерною особливістю є ускладнений характер гідравлічного опору. Під час перекачування стічних вод напірна система працює не тільки як трубопровід із втратами на тертя, а як комплекс, у якому додатково діють місцеві опори засувки, колін, клапанів, зворотних клапанів, фланцевих з'єднань і технологічних переходів. При цьому зміна швидкості потоку під час пуску насоса призводить до неусталених процесів у напірній мережі. Якщо розгін здійснюється різко, то в трубопроводі можуть виникати короткочасні коливання тиску, гідравлічні удари та підвищені динамічні навантаження на арматуру. Для каналізаційних станцій, де напірні трубопроводи часто працюють у важких експлуатаційних умовах, це є суттєвим фактором зниження довговічності.

Суттєвий вплив на роботу фекального насоса має і конструкція його проточної частини. Для забезпечення проходження стоків із домішками в таких насосах використовують спеціальні робочі колеса: відкриті, напіввідкриті, вільновихрові або колеса з ріжучими елементами. З одного боку, це знижує ймовірність засмічення, а з іншого — часто супроводжується деяким зменшенням гідравлічного коефіцієнта корисної дії порівняно зі звичайними відцентровими насосами для чистої води. Отже, електропривод фекального насоса повинен компенсувати не лише номінальне навантаження, а й додаткові втрати, пов'язані з конструктивною специфікою насосного обладнання.

У практичній експлуатації каналізаційних станцій важливу роль відіграє режим запуску насоса з рідиною в системі. Насосний агрегат, як правило, запускається не в ідеально полегшених умовах, а за наявності певного рівня рідини у приймальному резервуарі та певного гідравлічного стану напірного трубопроводу. Це означає, що з перших моментів пуску двигун повинен розвивати достатній електромагнітний момент для подолання моменту інерції

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обертів мас та моменту опору, сформованого насосною частиною. Якщо пуск здійснюється без обмеження струму, то це супроводжується великою кратністю пускового струму, значним нагрівом обмоток та ударним навантаженням на вал і підшипникові вузли.

Для асинхронного електродвигуна, який найчастіше використовується у складі фекального насоса, синхронна частота обертання визначається виразом:

$$n_0 = \frac{60f}{p} \quad (1.2)$$

де f — частота живлення, Гц; p — число пар полюсів.

Реальна частота обертання ротора є меншою за синхронну через ковзання і визначається співвідношенням

$$n = n_0(1 - s) \quad (1.3)$$

де s — ковзання асинхронного двигуна.

Кутова швидкість вала двигуна становить

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (1.4)$$

а зв'язок між потужністю на валу, моментом і кутовою швидкістю має вигляд:

$$P = M\omega \quad (1.5)$$

звідки момент на валу можна визначити за формулою

$$M = \frac{P}{\omega} \quad (1.6)$$

Ці співвідношення мають безпосереднє практичне значення для насосних установок, оскільки дозволяють оцінити навантаження на електропривод у пусковому та усталеному режимах. Для фекального насоса особливо важливо, щоб пусковий момент був достатнім для надійного розгону агрегата, але при цьому сам процес запуску не супроводжувався надмірними динамічними перевантаженнями.

Ще однією особливістю роботи фекальних насосів є підвищена роль повторних пусків. На каналізаційних станціях робота насосного обладнання часто керується рівнем рідини у приймальному резервуарі. Коли рівень перевищує певне значення, насос вмикається, а після пониження рівня — вимикається. Такий алгоритм автоматизації є технологічно зручним, однак він

означає, що за добу електропривод може виконувати значну кількість пусків. Для асинхронного двигуна кожний пуск супроводжується короткочасним зростанням струму, електромагнітного моменту та тепловиділення. У результаті саме пусковий режим часто стає визначальним щодо старіння ізоляції та скорочення ресурсу двигуна.

Кількість тепла, що виділяється в обмотках двигуна, пов'язана зі струмом і активним опором обмоток. У першому наближенні потужність електричних втрат у статорі може бути оцінена як

$$P_{\text{вт}} = 3I^2 R \quad (1.7)$$

де I — фазний струм, R — активний опір фази обмотки.

Оскільки під час пуску струм у кілька разів перевищує номінальний, теплове навантаження на обмотки також різко зростає. Це особливо небезпечно для насосів, що працюють у режимі частих увімкнень. Саме тому забезпечення плавного пуску є одним із ключових технічних заходів для підвищення довговічності електродвигуна.

Для фекальних насосів характерним є також вплив умов монтажу. У каналізаційних станціях використовуються як поверхневі, так і занурювальні насосні агрегати. Поверхнєве виконання полегшує доступ до двигуна і насосної частини, однак вимагає організації всмоктувальної магістралі та ретельного контролю герметичності. Занурювальні насоси, навпаки, дають змогу компактно розмістити обладнання в резервуарі й підвищують надійність всмоктування, але ставлять жорсткі вимоги до герметизації двигуна, стану кабельних вводів і системи теплового захисту. У будь-якому випадку режим пуску залишається критичним, оскільки саме він створює найбільше одночасне електричне і механічне навантаження на агрегат.

У технічному аналізі насосних установок важливо враховувати закони подібності насосів, які показують, як змінюються подача, напір і потужність залежно від частоти обертання. У спрощеному вигляді ці залежності мають вигляд:

$$Q_2 = Q_1 \frac{n_2}{n_1} \quad (1.8)$$

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H_2 = H_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad (1.9)$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 \quad (1.10)$$

Із цих співвідношень видно, що навіть відносно невелика зміна швидкості обертання викликає значну зміну споживаної потужності. Це є важливим як для частотного керування, так і для аналізу процесу плавного пуску. Якщо розгін насоса здійснюється поступово, то і зростання навантаження на електродвигун та трубопровідну систему відбувається більш м'яко, що позитивно впливає на надійність установки.

Найбільш важливі особливості роботи фекального насоса каналізаційної станції пов'язані з поєднанням змінного припливу стоків, важкого середовища перекачування та пускових навантажень електропривода, що узагальнено показано на рисунку 1.2.

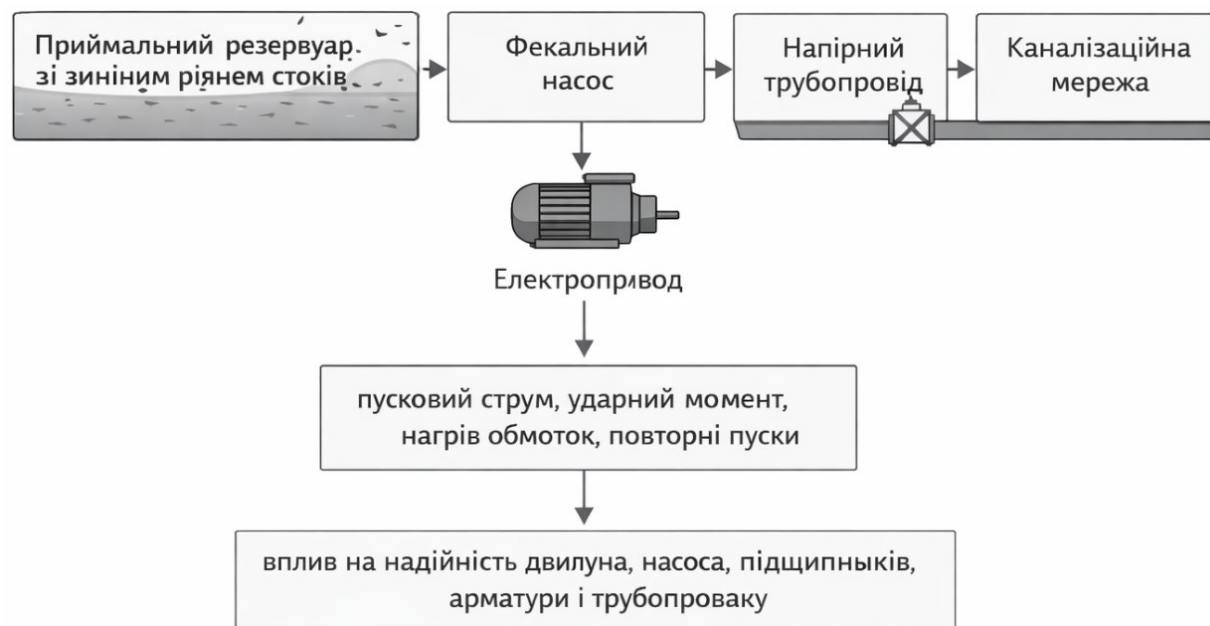


Рис. 1.3 Особливості роботи фекального насоса в системі каналізаційної станції

Як видно з рисунка 1.3, фекальний насос працює в умовах одночасної дії гідравлічних, електричних і механічних чинників. У пусковому режимі ці

чинники накладаються один на одного, що робить запуск насосного агрегата одним із найбільш напружених етапів експлуатації.

Для систематизації основних експлуатаційних особливостей фекальних насосів доцільно використати таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні особливості роботи фекальних насосів каналізаційних станцій

Характерна особливість	Сутність явища	Практичний вплив на роботу електропривода
Забруднений характер середовища	Наявність твердих, волокнистих і органічних включень	Змінний момент опору, ризик перевантаження, підвищені вимоги до пускового моменту
Нерівномірний притік стоків	Значна добова і випадкова зміна витрати	Повторні пуски, циклічний характер роботи, несталий режим навантаження
Пуск із навантаженням	Насос запускається при наявності рідини в системі	Великі пускові струми, нагрів двигуна, динамічні навантаження на вал
Взаємодія з напірною мережею	Формування тиску в трубопроводі при запуску	Можливість гідроударів, навантаження на арматуру та зворотні клапани
Робота в агресивному середовищі	Волога, гази, абразивні включення	Підвищені вимоги до ізоляції, герметичності та захисту електродвигуна
Потреба у безперервній роботі	Недопустимість тривалого простою станції	Необхідність резервування насосів та високої надійності системи пуску
Підвищена інерційність агрегата	Сумарна інерція ротора, муфти і робочого колеса	Вимоги до плавності розгону та обмеження ударного моменту

З таблиці 1.2 видно, що робота фекальних насосів каналізаційних станцій характеризується поєднанням кількох несприятливих чинників: важкого середовища перекачування, несталого притоку стоків, повторних пусків, динамічної взаємодії з трубопроводом та високих вимог до безперервності функціонування. Усе це суттєво ускладнює умови експлуатації електропривода порівняно зі звичайними насосними установками.

Узагальнюючи викладене, можна зробити висновок, що фекальні насоси каналізаційних станцій працюють у складних електромеханічних і

гідравлічних режимах, для яких характерні змінний момент опору, підвищені пускові навантаження, можливість гідравлічних ударів, повторні увімкнення та жорсткі вимоги до безперервності роботи. Саме тому вибір способу пуску електропривода має для них принципове значення. Удосконалення пускового режиму є не допоміжним, а одним з основних технічних напрямів підвищення надійності насосної установки в цілому.

1.4 Проблеми надійності фекальних насосів каналізаційних станцій

Надійність фекальних насосів каналізаційних станцій є однією з ключових умов безпечного та безперервного функціонування систем водовідведення. На відміну від багатьох інших технологічних установок, каналізаційна станція не допускає тривалих зупинок, оскільки відмова насосного агрегата може призвести до переповнення приймального резервуара, затоплення приміщень, аварійного скидання стоків, забруднення навколишнього середовища та порушення санітарного стану об'єкта. Саме тому проблема надійності фекальних насосів має не лише технічне, а й експлуатаційне, економічне та екологічне значення.

У загальному розумінні надійність насосної установки слід розглядати як здатність зберігати працездатність у заданих умовах експлуатації протягом певного проміжку часу. Для фекальних насосів це поняття охоплює одночасно кілька складових: безвідмовність роботи електродвигуна, стійкість насосної частини до засмічення і зношування, надійність підшипникових вузлів, герметичність ущільнень, працездатність силової частини, системи пуску, арматури та напірного трубопроводу. На практиці відмова будь-якого з цих елементів може призвести до виходу з ладу всього насосного агрегата.

Проблема надійності фекальних насосів значною мірою пов'язана зі складними умовами їх роботи. Перекачуване середовище містить механічні домішки, волокнисті включення, органічні залишки, пісок, мул та інші забруднення. Унаслідок цього насос працює в умовах підвищеного абразивного та механічного впливу, а проточна частина піддається засміченню

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та нерівномірному навантаженню. З точки зору електропривода це означає, що момент опору на валу насоса може змінюватися в широких межах, а отже електродвигун повинен працювати не в стабільному, а в динамічно змінному режимі.

Однією з найважливіших причин зниження надійності є часті пуски електропривода. Для каналізаційних станцій типовим є режим, при якому насосні агрегати вмикаються автоматично залежно від рівня стічних вод у приймальному резервуарі. При цьому кількість запусків за добу може бути значною. Кожен пуск асинхронного двигуна супроводжується підвищеним пусковим струмом, великим електромагнітним моментом та інтенсивним тепловиділенням в обмотках. Повторення таких режимів призводить до прискореного старіння ізоляції, нагріву обмоток, підвищеного навантаження на підшипники та муфтові з'єднання. У підсумку саме пускові режими часто стають причиною скорочення ресурсу електропривода насосної установки.

Суттєву роль у зниженні надійності відіграють і механічні перевантаження. Під час жорсткого пуску насосний агрегат зазнає ударного розгону, що викликає різкі зміни моменту на валу. Такі навантаження передаються на муфти, підшипники, робоче колесо, кріплення насосного агрегата і трубопровідну арматуру. Якщо насос перекачує середовище з підвищеним вмістом твердих включень, механічні навантаження ще більше зростають. У таких умовах надійність установки визначається не лише міцністю окремих деталей, а й плавністю роботи електропривода.

Для фекальних насосів каналізаційних станцій характерною є також підвищена ймовірність гідравлічних ускладнень роботи. Різкий запуск насоса може викликати неусталені процеси в напірному трубопроводі, локальні підвищення тиску, вібрації, гідравлічні удари та коливання потоку. Це негативно впливає на довговічність зворотних клапанів, засувок, фланцевих з'єднань та ущільнень. З цієї причини проблему надійності насосної установки не можна зводити лише до оцінки стану електродвигуна — її необхідно

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розглядати комплексно, з урахуванням взаємодії привода, насоса та трубопровідної системи.

Окремої уваги заслуговує питання електричної надійності електродвигуна. Саме електродвигун є одним із найбільш навантажених елементів установки, оскільки він одночасно сприймає електричні, теплові та механічні впливи. Для низьковольтних електродвигунів найбільш поширеними дефектами є перевантаження і перегрів статора, міжвиткові замикання, пошкодження підшипників, порушення стану ізоляції, робота на двох фазах, дефекти ротора, ослаблення кріплення обмоток та несоосність валів. Значна частина перелічених пошкоджень або безпосередньо виникає під дією важких пускових режимів, або прискорюється через часті запуски й великі струмові навантаження.

Для кількісного опису надійності в теорії надійності використовують імовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов та середній час безвідмовної роботи. У спрощеному випадку ймовірність безвідмовної роботи можна подати як

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (1.11)$$

де λ — інтенсивність відмов, t — час роботи.

Імовірність виникнення відмови на інтервалі часу t визначається як:

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (1.12)$$

Наведені співвідношення мають загальний характер, проте вони показують важливу закономірність: зі збільшенням інтенсивності відмов імовірність безвідмовної роботи зменшується, а середній термін стабільної експлуатації скорочується. Для насосних агрегатів каналізаційних станцій інтенсивність відмов підвищується саме через складні умови експлуатації, часті пуски, нагрів, вібрації та механічні перевантаження.

Для фекальних насосів каналізаційних станцій зниження надійності має комплексний характер і формується під одночасною дією електричних, механічних та гідравлічних чинників. Для більш наочного уявлення про характер типових відмов доцільно подати узагальнену таблицю найбільш

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поширених дефектів електродвигунів, що безпосередньо впливають на надійність електроприводів насосних установок.

Таблиця 1.3 – Найбільш поширені дефекти низьковольтних електродвигунів

№	Дефект	Частка, %	Вплив на роботу насосної установки
1	Перевантаження і перегрів статора	31	Прискорене старіння ізоляції, зниження ресурсу двигуна
2	Міжвиткове замикання	15	Аварійний перегрів, небезпека виходу двигуна з ладу
3	Пошкодження підшипників	12	Зростання вібрацій, шуму, ризик заклинювання
4	Пошкодження обмоток статора або ізоляції	11	Втрата працездатності двигуна, потреба в ремонті
5	Нерівномірний повітряний зазор між статором і ротором	9	Додаткові вібрації, погіршення електромагнітного режиму
6	Робота на двох фазах	8	Різде зростання нагріву, аварійний режим
7	Обрив або ослаблення кріплення стержнів ротора	5	Погіршення пускових властивостей і моменту
8	Ослаблення кріплення обмоток статора	4	Підвищення вібрацій, ризик механічного пошкодження
9	Дисбаланс ротора	3	Додаткове навантаження на підшипники і вал
10	Несоосність валів	2	Прискорений знос муфт і підшипникових вузлів

З таблиці 1.3 видно, що найбільшу частку в структурі дефектів займають відмови, пов'язані з нагрівом, електричним перевантаженням, станом ізоляції та механічними вузлами. Для насосних установок це має принципове значення, оскільки саме пускові режими найчастіше формують умови, за яких перегрів статора, міжвиткові замикання та пошкодження підшипників розвиваються найінтенсивніше.

Для фекальних насосів особливо характерним є поєднання двох груп проблем надійності. До першої належать проблеми, пов'язані з самим насосом: засмічення, зношування робочого колеса, абразивне руйнування проточної частини, порушення герметичності ущільнень. До другої — проблеми електропривода: нагрів обмоток, перевантаження статора,

погіршення стану ізоляції, механічне навантаження на підшипники, падіння напруги в мережі при пуску. В реальних умовах обидві групи діють одночасно. Наприклад, часткове засмічення насоса збільшує момент опору на валу, а це призводить до зростання струму двигуна, підвищення температури обмоток і зменшення загальної надійності установки.

Важливо також враховувати роль людського та експлуатаційного фактора. Неправильне налаштування автоматики, невчасне технічне обслуговування, недостатній контроль температури, вібрації та стану ізоляції, неякісне очищення приймальних резервуарів — усе це додатково знижує ресурс насосного обладнання. Для каналізаційних станцій, що часто працюють у цілодобовому режимі, своєчасна профілактика має не менше значення, ніж вибір насоса чи електродвигуна.

Однією з головних причин зниження експлуатаційної надійності фекальних насосів каналізаційних станцій є обмежений ресурс електропривода, насамперед асинхронного електродвигуна. Саме короткозамкнений асинхронний двигун нині є найбільш поширеним силовим елементом електроприводів, що пояснюється простотою конструкції, відносно невисокою вартістю, технологічністю виготовлення та достатньо високою надійністю в стандартних умовах роботи. Проте в реальних умовах каналізаційних станцій електродвигуни працюють у значно важчих режимах, ніж номінально передбачено паспортними характеристиками.

До несприятливих чинників експлуатації належать змінне та часто несиметричне навантаження, повторно-короткочасні режими роботи, нестабільність напруги живлення, підвищена вологість, забруднення, агресивні газові середовища, коливання температури, а також недосконалість технічного обслуговування. Сукупна дія цих факторів негативно впливає на працездатність електродвигуна і сприяє розвитку електричних, теплових та механічних дефектів.

Аналіз найбільш поширених пошкоджень низьковольтних електродвигунів показує, що найбільшу частку відмов становлять дефекти,

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безпосередньо пов'язані з перевантаженням, нагрівом і погіршенням стану ізоляції. До них належать перегрів статора, міжвиткові замикання, пошкодження підшипників, руйнування або старіння ізоляції, нерівномірний повітряний зазор між статором і ротором, робота двигуна на двох фазах, дефекти короткозамкненого ротора, ослаблення кріплення обмоток, дисбаланс ротора та несоосність валів. Для насосних установок такі дефекти особливо небезпечні, оскільки відмова одного електродвигуна може призвести до порушення режиму роботи всієї каналізаційної станції.

Найбільш поширеним видом пошкоджень є перевантаження і перегрів статора. Це свідчить про те, що теплова напруженість двигуна є одним із головних факторів, які визначають його ресурс. Для фекальних насосів така проблема ще більш актуальна, оскільки запуск двигуна часто здійснюється в умовах значного моменту опору, а повторні пуски протягом доби призводять до додаткового нагріву обмоток. Унаслідок цього прискорюється старіння ізоляції, зростає ймовірність міжвиткових замикань та погіршується загальна надійність електропривода. Не менш небезпечними є пошкодження підшипників, дисбаланс ротора та несоосність валів. Вони формують групу механічних дефектів, що супроводжуються підвищенням вібрації, шуму, додаткових динамічних навантажень і прискореним зношуванням вузлів агрегата. Для фекальних насосів ці явища посилюються ударними моментами під час жорсткого пуску, а також нерівномірністю гідравлічного навантаження, яка виникає через складний склад перекачуваного середовища.

Окрему групу становлять електричні дефекти, пов'язані з порушенням режиму живлення: робота на двох фазах, пробій на корпус, обрив схемних з'єднань, оплавлення або пробій вивідних проводів, міжлистові замикання в активній сталі, старіння ізоляції та інші несправності. Такі дефекти можуть розвиватися як поступово, так і аварійно, що особливо небезпечно для насосних станцій без постійного обслуговувального персоналу.

Таким чином, структура відмов низьковольтних електродвигунів свідчить, що основні проблеми надійності пов'язані з тепловими

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевантаженнями, станом ізоляції та механічними навантаженнями. Для електроприводів фекальних насосів каналізаційних станцій це означає необхідність зменшення пускових струмів, ударних моментів і нагріву двигуна. Саме тому удосконалення системи пуску, зокрема застосування плавного пуску, слід розглядати як один із найбільш доцільних технічних напрямів підвищення надійності насосної установки в цілому.

Таблиця 1.4 – Найбільш поширені дефекти низьковольтних електродвигунів

№	Дефект	Частка, %
1	Перевантаження і перегрів статора електродвигуна	31
2	Міжвиткове замикання	15
3	Пошкодження підшипників	12
4	Пошкодження обмоток статора або ізоляції	11
5	Нерівномірний повітряний зазор між статором і ротором	9
6	Робота електродвигуна на двох фазах	8
7	Обрив або ослаблення кріплення стержнів у короткозамкненому роторі	5
8	Ослаблення кріплення обмоток статора	4
9	Дисбаланс ротора	3
10	Несоосність валів	2

Отже, проблеми надійності фекальних насосів каналізаційних станцій мають комплексний характер і обумовлюються дією електричних, механічних, теплових, гідравлічних та експлуатаційних чинників. Найбільш небезпечними є часті пуски, великі пускові струми, ударні моменти, нагрів обмоток, засмічення насосної частини та динамічні навантаження на трубопровідну систему. Саме тому одним із найбільш доцільних напрямів підвищення надійності є удосконалення режиму запуску електропривода, тобто перехід від жорсткого прямого пуску до більш м'яких способів розгону агрегата.

1.5 Вплив плавного пуску на надійність електропривода насосної установки

Одним із найбільш доцільних напрямів підвищення надійності електроприводів фекальних насосів каналізаційних станцій є удосконалення режиму їх пуску. Саме пусковий режим є найбільш напруженим етапом роботи електропривода, оскільки в цей момент одночасно виникають підвищені струмові, теплові, електромагнітні та механічні навантаження. Для насосних установок, що працюють у важких умовах перекачування стічних вод і часто запускаються в автоматичному режимі, проблема зниження цих навантажень набуває особливого значення. Тому плавний пуск слід розглядати не як допоміжний елемент керування, а як один із ключових технічних засобів підвищення експлуатаційної надійності всієї насосної установки.

Під час прямого пуску асинхронного двигуна напруга на його затискачі подається практично миттєво, унаслідок чого пусковий струм у кілька разів перевищує номінальний. Це призводить до інтенсивного нагріву обмоток статора, зниження напруги в живильній мережі, підвищених електродинамічних сил у провідниках та ударного зростання електромагнітного моменту. Для насосного агрегата такий режим означає різкий розгін ротора, муфти та робочого колеса, що супроводжується підвищеним механічним навантаженням на вал, підшипники, кріплення та елементи трубопровідної арматури. У результаті багаторазове повторення жорстких пусків прискорює старіння ізоляції двигуна, збільшує ймовірність міжвиткових замикань, підвищує вібрації та знижує загальний ресурс обладнання.

На відміну від прямого пуску, плавний пуск забезпечує поступове зростання напруги на затискачах електродвигуна, внаслідок чого швидкість розгону насосного агрегата змінюється більш м'яко. Це приводить до обмеження пускового струму, зменшення ударного моменту та зниження інтенсивності теплових і механічних перевантажень. У практичному відношенні це означає, що електродвигун працює в більш сприятливих

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умовах, а елементи насосної установки зазнають значно менших динамічних впливів.

Вплив плавного пуску на електричну частину електропривода проявляється насамперед у зменшенні струмових навантажень. Потужність втрат в обмотках статора пропорційна квадрату струму, тому навіть часткове обмеження пускового струму дає помітний ефект у зменшенні нагріву двигуна.

Саме тому плавний пуск є ефективним засобом боротьби з перегрівом статора, який, як було показано в попередньому підрозділі, належить до найбільш поширених причин відмов електродвигунів. Зменшення нагріву уповільнює старіння ізоляції, знижує ризик міжвиткових замикань і збільшує термін служби двигуна.

Другим важливим напрямом позитивного впливу плавного пуску є зменшення механічних перевантажень. При жорсткому пуску на валу двигуна виникає ударний електромагнітний момент, який передається на всі елементи кінематичного ланцюга. Для насосних установок це особливо небезпечно, оскільки насосне колесо, вал, муфта, підшипники і кріплення працюють у змінному режимі навантаження, а присутність домішок у стоках додатково ускладнює умови експлуатації. Плавний пуск зменшує швидкість зміни моменту в часі, а отже сприяє більш м'якому розгону агрегата. У результаті знижуються ударні навантаження, послаблюється вібраційний вплив і сповільнюється механічне зношування вузлів.

Для електропривода насосної установки зв'язок між потужністю, моментом і кутовою швидкістю визначається залежністю

$$P = M\omega \quad (1.13)$$

Ці вираз показують, що в пусковому режимі, коли кутова швидкість ще мала, для забезпечення необхідної потужності двигун повинен розвивати підвищений момент. Саме тому характер наростання напруги і швидкості при пуску має принципове значення. Якщо розгін відбувається занадто різко, момент зростає ударно, що негативно впливає на надійність агрегата. Якщо ж

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напруга і, відповідно, момент зростають плавно, то і механічні навантаження на насосну установку розподіляються в часі більш рівномірно.

Не менш важливим є вплив плавного пуску на гідравлічну частину насосної установки. Для каналізаційних станцій характерною є наявність напірних трубопроводів, зворотних клапанів, засувки та інших елементів арматури, чутливих до різких змін тиску і швидкості потоку. Під час прямого пуску насоса швидкість рідини в трубопроводі зростає швидко, що може супроводжуватися короткочасними коливаннями тиску та гідравлічними ударами. Такі процеси підвищують навантаження на арматуру і трубопровідні з'єднання та знижують довговічність системи. Плавний пуск, навпаки, забезпечує поступове формування напору і подачі, що зменшує динамічний вплив на трубопровідну.

Особливо актуальним плавний пуск є для фекальних насосів, які працюють у режимах повторних увімкнень. У таких умовах електродвигун не встигає повністю охолотитися між окремими пусками, а отже накопичувальний тепловий ефект може бути досить значним. Якщо кожний запуск супроводжується великим струмом і різким розгоном, то ресурс електропривода зменшується особливо швидко. Використання плавного пуску дозволяє знизити теплову напруженість кожного окремого старту, що особливо важливо саме для каналізаційних станцій з автоматичним керуванням за рівнем стоків.

Необхідно підкреслити, що плавний пуск не усуває всіх можливих причин відмов насосної установки. Він не ліквідує засмічення проточної частини, не компенсує конструктивні дефекти насоса і не замінює належного технічного обслуговування. Проте саме плавний пуск істотно зменшує дію тих факторів, які безпосередньо пов'язані з електроприводом: пускових струмів, ударних моментів, нагріву обмоток, вібрацій і динамічних навантажень на елементи системи. Саме тому його слід розглядати як один з основних технічних шляхів підвищення надійності.

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У межах даної дипломної роботи плавний пуск розглядається не як окремий елемент автоматики, а як основний напрям вирішення поставленого завдання. Загальна логіка дослідження полягає в тому, що підвищення надійності електроприводів фекальних насосів досягається через зменшення негативного впливу пускових режимів. Для цього необхідно:

- проаналізувати особливості роботи фекальних насосів каналізаційних станцій;
- визначити, які саме фактори пускового режиму найбільше впливають на надійність;
- виконати розрахунки пускових струмів, моментів і втрат;
- обґрунтувати вибір пристрою плавного пуску та елементів силової частини;
- провести моделювання режимів роботи електропривода і порівняти характеристики системи до та після удосконалення.

Вплив плавного пуску на надійність насосної установки має комплексний характер, оскільки він одночасно зменшує електричні, механічні та гідравлічні перевантаження, що схематично показано на рисунку

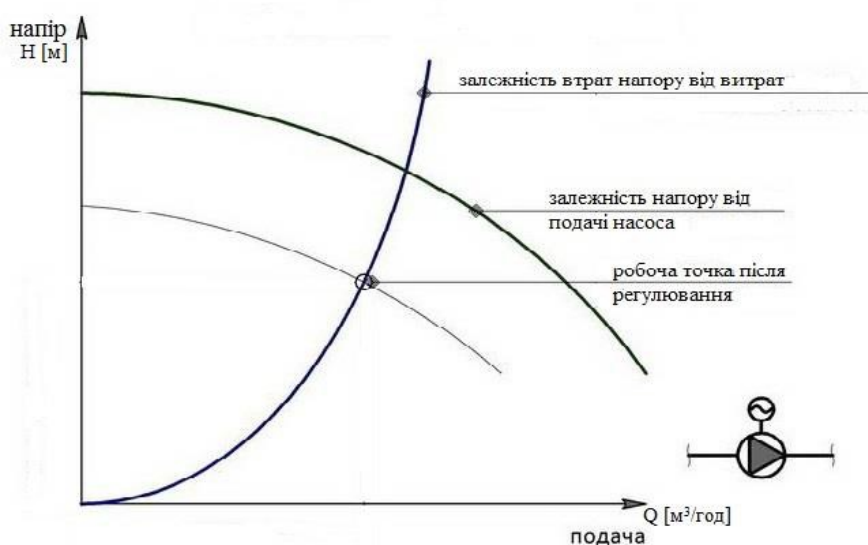


Рис. 1.4 Вплив плавного пуску на надійність електропривода насосної установки

Як видно з рисунка 1.4, основний позитивний ефект плавного пуску полягає не лише у покращенні самого процесу запуску, а й у зменшенні сукупного руйнівного впливу перехідних режимів на всі елементи насосної установки. Для систематизації впливу плавного пуску доцільно подати таблицю 1.4.

Таблиця 1.4 – Основні результати впливу плавного пуску на надійність насосної установки

Напрямок впливу	Результат застосування плавного пуску	Вплив на надійність
Електричний	Зменшення пускового струму	Менший нагрів обмоток, повільніше старіння ізоляції
Тепловий	Зниження втрат у пусковому режимі	Підвищення ресурсу електродвигуна
Механічний	Зменшення ударного моменту	Зниження зносу вала, муфти, підшипників
Гідравлічний	Плавне формування напору та подачі	Зменшення гідроударів і навантаження на арматуру
Експлуатаційний	М'якший запуск при повторних пусках	Підвищення стабільності роботи станції
Системний	Зменшення кількості аварійних режимів	Підвищення надійності насосної установки в цілому

Отже, плавний пуск електропривода насосної установки слід розглядати як технічно обґрунтований і практично доцільний засіб підвищення надійності фекальних насосів каналізаційних станцій. Його застосування дозволяє зменшити пускові струми, теплові та механічні перевантаження, послабити динамічний вплив на трубопровідну систему і тим самим підвищити довговічність електродвигуна, насосного агрегата і допоміжного обладнання. Саме тому в даному проекті удосконалення плавності пуску приймається як основний технічний напрям вирішення поставленої задачі підвищення надійності електроприводів фекальних насосів каналізаційних станцій.

Висновки до розділу 1.

У розділі 1 розглянуто особливості електроприводів фекальних насосів та умови їх роботи у системі каналізаційних станцій. Показано, що фекальні

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

насосні установки працюють у складних експлуатаційних режимах, для яких характерні змінний приплив стоків, наявність механічних домішок, повторні пуски, підвищені теплові та механічні навантаження, а також жорсткі вимоги до безперервності функціонування системи.

Встановлено, що одними з головних причин зниження надійності електроприводів є великі пускові струми, ударні моменти, нагрів обмоток електродвигуна, зношування механічних вузлів та динамічні навантаження на трубопровідну мережу. У зв'язку з цим обґрунтовано доцільність удосконалення режиму запуску насосних агрегатів.

Показано, що перспективним напрямом підвищення надійності електроприводів фекальних насосів є забезпечення плавного пуску, зокрема із використанням керованої зміни частоти живлення асинхронного двигуна. Це дозволяє зменшити пускові перевантаження, покращити умови роботи електродвигуна і насосного агрегата та підвищити загальну надійність насосної установки.

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ПЛАВНОГО ПУСКУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

2.1. Розрахунок та вибір основних параметрів насосних агрегатів

Для подальшого розрахунку елементів системи плавного пуску електропривода необхідно спочатку визначити основні параметри насосного агрегату, який працює в умовах каналізаційної станції. Такий розрахунок дає змогу встановити потрібну подачу, напір, потужність насоса, а також вибрати привідний електродвигун за потужністю і моментом.

Робота фекальних насосів має низку особливостей, які необхідно враховувати під час вибору привода. До них належать нерівномірне надходження стічних вод, наявність механічних домішок, підвищений опір під час пуску, а також потреба у надійному функціонуванні в повторно-короткочасних або важких умовах експлуатації. Саме тому вибір насосного агрегату та його привідного двигуна повинен здійснюватися не лише за гідравлічними параметрами, а й з урахуванням електромеханічних навантажень.

Одним із головних параметрів насосної установки є напір, який повинен розвивати насос. Сумарний напір визначається як сума геометричного напору та втрат напору в трубопроводі й місцевих опорах:

$$H = H_{\Gamma} + H_{\text{втр}} \quad (2.1)$$

де H_{Γ} — геометричний напір, м; $H_{\text{втр}}$ — втрати напору в трубопроводах і місцевих опорах, м.

Після визначення напору та подачі насоса переходять до розрахунку його гідравлічної потужності. Ця потужність характеризує корисну енергію, що передається потоку рідини:

Після визначення напору та подачі насоса переходять до розрахунку його гідравлічної потужності. Ця потужність характеризує корисну енергію, що передається потоку рідини:

$$P_{\Gamma} = \rho g Q H \quad (2.2)$$

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де ρ — густина рідини, кг/м³; g — прискорення вільного падіння, м/с²; Q — подача насоса, м³/с; H — напір насоса, м.

Для умов роботи каналізаційної станції густину стічної рідини в інженерних розрахунках допускається приймати близькою до густини води: $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Оскільки частина потужності втрачається внаслідок гідравлічних, механічних та внутрішніх втрат у насосі, для вибору привідного двигуна необхідно визначити потужність на валу насоса. Вона обчислюється через коефіцієнт корисної дії насоса:

$$P_B = \frac{P_r}{\eta_n} \quad (2.3)$$

Для надійної роботи електропривода потужність вибраного двигуна повинна бути дещо більшою за розраховану потужність на валу. Це враховується введенням коефіцієнта запасу:

$$P_n = k_z P_B \quad (2.4)$$

де P_n — номінальна потужність двигуна, кВт; k_z — коефіцієнт запасу потужності.

Для насосних агрегатів коефіцієнт запасу зазвичай приймається в межах: $k_z = 1.1 \div 1.2$

Вибір двигуна лише за потужністю є недостатнім, оскільки електродвигун повинен забезпечувати ще й потрібний момент на валу. Для його оцінювання спочатку враховують характер навантаження насосного агрегату. Для відцентрових насосів момент опору змінюється пропорційно квадрату кутової швидкості:

$$M_c = k\omega^2 \quad (2.5)$$

де M_c — статичний момент опору насосного агрегату, Н·м; k — коефіцієнт пропорційності; ω — кутова швидкість, рад/с.

Водночас споживана потужність насоса змінюється приблизно пропорційно кубу швидкості обертання:

$$P = k_1\omega^3 \quad (2.6)$$

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де k_1 — коефіцієнт, що залежить від конструктивних і гідравлічних параметрів насосної установки.

Для аналізу режимів роботи насоса при зміні частоти обертання доцільно також використовувати закони подібності насосів. Зокрема, подача насоса змінюється пропорційно частоті обертання:

$$Q_2 = Q_1 \frac{n_2}{n_1} \quad (2.7)$$

Потужність, споживана насосом, змінюється пропорційно кубу відношення частот обертання:

$$P_2 = P_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 \quad (2.8)$$

Наведені залежності мають важливе практичне значення, оскільки показують, що навіть незначна зміна частоти обертання електродвигуна призводить до суттєвої зміни напору та особливо споживаної потужності. Це необхідно враховувати як при виборі двигуна, так і при подальшому аналізі режимів плавного пуску.

Після визначення потужності привідного двигуна обчислюють його номінальний момент. Для цього використовується така залежність:

$$M_n = \frac{9550 P_n}{n} \quad (2.9)$$

де M_n — номінальний момент двигуна, Н·м; P_n — номінальна потужність двигуна, кВт; n — частота обертання, об/хв.

Таким чином, розрахунок потужності насоса та вибір привідного двигуна базуються на визначенні подачі, напору, гідравлічної потужності, потужності на валу та моменту навантаження. Отримані співвідношення є необхідною основою для подальшого розрахунку пускових струмів, моментів і втрат у системі електропривода фекального насоса.

За попередніми даними для подальшого аналізу обираємо насос італійської фірми CALPEDA серії NM 65-250, параметри якого є найбільш близькими до заданих вихідних умов. Для обраного насосного агрегату

					КРБ. АТЕІРС.141.641-03.6.4	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приймаємо такі паспортні значення: подача $Q=100$ м³/год, напір $H=60$ мН.
Інші та додаткові дані насосної установки наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Паспортні дані насосної установки

Параметр	Значення
Тип насоса	NM 65-250
Продуктивність (Q)	100 м ³ /год
Напір (H)	60 м
Рідина	Вода (чиста)
Концентрація	100 %
Температура	20 °C
Густина (ρ)	0.9982 кг/дм ³
В'язкість	1 мм ² /с
Тип агрегату	Насос
Кількість насосів	1
Висота підводу	1 м

З метою перевірки правильності вибору насосного агрегату та відповідності потужності привідного електродвигуна заданим умовам експлуатації надалі виконаємо розрахунок необхідної потужності за аналітичними залежностями. Для цього також використаємо паспортні дані електродвигуна, встановленого на обраному агрегаті. Вони наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Паспортні дані електродвигуна

Параметр	Значення
Номинальна потужність (P_2)	34 кВт
Частота обертання (n)	2950 об/хв
Номинальна напруга	400 В
Номинальний струм	18 А
Частота	50 Гц
Кількість полюсів	1
Тип двигуна	Трифазний (3~)
Габарит	200 L
Ступінь захисту	IP55

Наведені паспортні параметри приймаємо як вихідні дані для подальшого розрахунку. Перед виконанням обчислень переведемо основні величини у систему SI.

Подача насоса, тобто об'єм рідини, який насос перекачує за одиницю часу, дорівнює:

$$Q = \frac{100}{3600} = 0.0278 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Густина фекальної рідини в реальних умовах може змінюватися залежно від складу стоків, однак для інженерного розрахунку на даному етапі приймаємо усереднене значення, близьке до паспортного:

$$\rho = 0.9982 \cdot 1000 = 998.2 \text{ кг/м}^3$$

Для наочності конструктивного виконання агрегату та взаємного розташування його основних вузлів на рисунках 2.1 і 2.2 наведено загальний вигляд обраної насосної установки.



Рис. 2.1 Загальний вигляд насосної установки CALPEDA серії NM 65-250

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 2.2 Загальний вигляд насосної установки з приводним асинхронним електродвигуном

Наведені зображення дають змогу візуально оцінити компоновальну схему насосного агрегату, до складу якого входять відцентровий насос, муфтове з'єднання, приводний електродвигун та опорна рама. Така конструкція є типовою для промислових насосних установок і забезпечує достатню жорсткість, ремонтпридатність та зручність монтажу в умовах експлуатації.

Наведені технічні характеристики насосного агрегату та електродвигуна приймаються як вихідні дані для подальшого розрахункового аналізу. На їх основі в підрозділі 2.2 буде визначено пускові струми, моменти та втрати електропривода, що є необхідним для оцінки навантаження на елементи системи та обґрунтування вибору пристрою плавного пуску.

2.2. Розрахунок пускових струмів, моментів і втрат.

Споживана потужність $P_{\text{мех}}$ насоса, яка вимірюється у кіловатах (kW), це передаюча від приводу до муфти або валу насосу механічна енергія, яка обчислюється за такими формулами:

Гідравлічна потужність насоса визначається за формулою:

$$P_{\text{нас}} = \rho g Q H = 1000 \cdot 9.81 \cdot \frac{104}{3600} \cdot 65 = 18421 \text{ Вт}$$

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де ρ — густина рідини, що перекачується, кг/м^3 , g — прискорення вільного падіння, м/с^2 , Q — подача насоса, м^3 , H — напір насоса, м .

Отримане значення $P_{\text{нас}}$ характеризує корисну гідравлічну потужність, яка передається потоку рідини. Проте при виборі привідного електродвигуна необхідно враховувати втрати в насосі та наявність запасу потужності, що забезпечує стійку роботу агрегату в реальних умовах експлуатації.

З урахуванням коефіцієнта корисної дії насоса та необхідного запасу потужності визначимо механічну потужність на валу електродвигуна:

$$P_{\text{мех}} = 1.2 \cdot \frac{P_{\text{нас}}}{\eta_{\text{нас}}} = 1.2 \cdot \frac{18421}{0.617} = 35826 \text{ Вт} \approx 36 \text{ кВт}$$

Отримане значення механічної потужності дещо перевищує номінальну потужність обраного електродвигуна, яка за паспортними даними становить 34 кВт. Така різниця пояснюється введенням коефіцієнта запасу 1.21.21.2, що враховує можливі перевантаження, додаткові втрати та складні умови роботи насосного агрегату в системі каналізаційної станції. Для уточнення доцільно визначити механічну потужність без урахування коефіцієнта запасу:

$$P'_{\text{мех}} = \frac{P_{\text{нас}}}{\eta_{\text{нас}}} \quad (2.10)$$

Як видно з розрахунку, значення механічної потужності без урахування запасу є меншим за номінальну потужність встановленого електродвигуна. Це свідчить про те, що обраний двигун потужністю 34 кВт у цілому відповідає умовам роботи насосної установки та має достатній резерв для забезпечення надійного функціонування привода. Для перевірки відповідності обраного електродвигуна режиму роботи насосної установки розглянемо залежність потужності на валу від подачі насоса. Дана залежність дозволяє визначити робочу точку агрегату та оцінити рівень навантаження електропривода при заданих параметрах роботи.

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

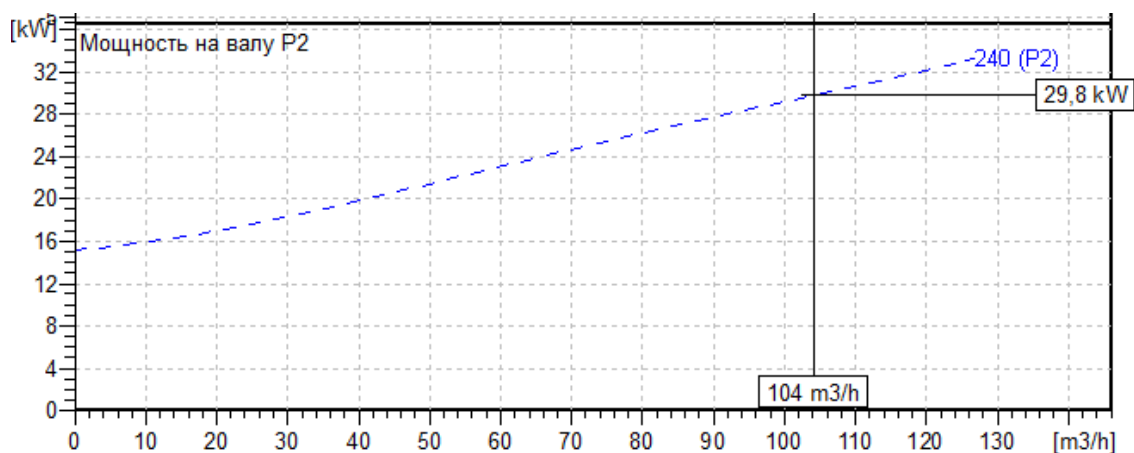
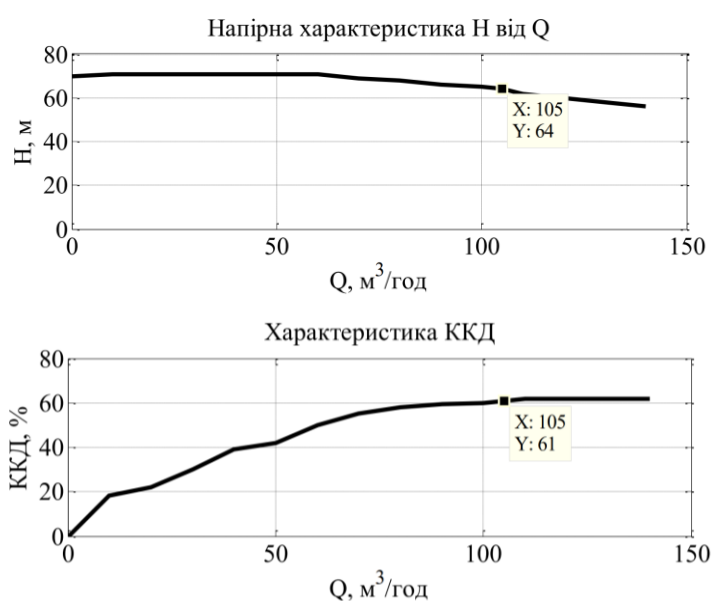


Рис. 2.3 Графік залежності P2 від Q

Як видно з графіка, при подачі $Q=104 \text{ м}^3/\text{год}$ потужність на валу насоса становить приблизно $P2 \approx 29.8 \text{ кВт}$ P_2 , що узгоджується з розрахунковим значенням механічної потужності без урахування коефіцієнта запасу. Це підтверджує коректність вибору електродвигуна потужністю 34 кВт та відповідність його робочим умовам насосної установки.

Для аналізу режимів роботи насосного агрегату та уточнення параметрів навантаження електропривода розглянемо напірну характеристику насоса та залежність коефіцієнта корисної дії від подачі. Дані характеристики дозволяють визначити робочу точку агрегату та оцінити ефективність його роботи в заданому режимі.



З наведених графіків видно, що при подачі та напіру насоса, коефіцієнт корисної дії досягає значення $\eta \approx 61\%$. Це свідчить про те, що робоча точка насосного агрегату знаходиться в зоні, близькій до оптимальної за енергетичними показниками. Отримані значення напору та коефіцієнта корисної дії використовуються при подальших розрахунках пускових режимів електропривода, зокрема для уточнення навантаження на валу двигуна та визначення втрат потужності в системі. Обирати насос необхідно виходячи з того, щоб в точка заданого напору відповідала точці максимального ККД насоса. Як бачимо з графіків представлених на рисунку 2.10 все відповідає умовам, отже насос обрано вірно. Паспортні дані двигуна 4A200M2Y3, якщо обмотки статора з'єднані у зірку, наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.3 – Паспортні дані двигуна 4A200M2Y3

Параметр	Позначення та значення
Номінальна потужність	$P_{2H} = 37 \text{ кВт}$
Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi = 0.8$
Число пар полюсів	$p_n = 1$
Перевантажувальна здатність	$\tau = 2.5$
Номінальна лінійна напруга статора	$U_{1H} = 380 \text{ В}$
Коефіцієнт корисної дії	$\eta = 0.9$
Момент інерції	$J_d = 0.15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Номінальне ковзання	$s_H = 0.019$
Критичне ковзання	$s_K = 0.115$
Номінальна частота напруги статора	$f = 50 \text{ Гц}$

Знайдемо номінальний струм статора двигуна:

$$I_n = \frac{P_{2n}}{3 \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{37000}{3 \cdot 220 \cdot 0.9 \cdot 0.8} = 78.07 \text{ (А)}$$

Визначимо амплітудні значення фазної напруги і струму статора:

$$U_{na} = \sqrt{2} \cdot U_n = \sqrt{2} \cdot 220 = 311 \text{ (В)}$$

$$I_{na} = \sqrt{2} \cdot I_n = \sqrt{2} \cdot 78.07 = 110.41 \text{ (А)}$$

Амплітудне значення потокозчеплення статора в режимі холостого ходу при $R_1=0$:

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пусковий момент асинхронного двигуна визначимо за формулою Клосса, приймаючи для моменту ковзання при пуску $s=1$:

$$M_{\Pi} = \frac{2M_K}{\frac{1}{s_K} + s_K} = \frac{2 \cdot 300.139}{\frac{1}{0.115} + 0.115} = 68.13 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Отримане значення показує момент, який двигун розвиває безпосередньо в початковий момент пуску. Для оцінки здатності двигуна запускати насосний агрегат доцільно визначити кратність пускового моменту відносно номінального:

$$k_M = \frac{M_{\Pi}}{M_H} = \frac{68.13}{120.05} = 0.57$$

Пусковий струм асинхронного двигуна за відсутності точного паспортного значення можна попередньо оцінити через кратність пускового струму. Для двигунів з короткозамкненим ротором у попередніх інженерних розрахунках часто приймають:

$$I_{\Pi} = k_I I_H \quad (2.11)$$

де k_I — кратність пускового струму.

Для подальшої оцінки приймемо середнє значення $k_I=6$.

Тоді пусковий струм становитиме:

$$I_{\Pi} = 6 \cdot 78.07 = 468.42 \text{ (А)}$$

Таким чином, кратність пускового струму відносно номінального дорівнює:

$$\frac{I_{\Pi}}{I_H} = \frac{468.42}{78.07} = 6$$

Оскільки втрати в обмотках статора пропорційні квадрату струму, при пуску вони різко зростають. Відносне збільшення електричних втрат у пусковому режимі можна оцінити як:

$$\frac{\Delta P_{\Pi}}{\Delta P_H} = \left(\frac{I_{\Pi}}{I_H} \right)^2 = 6^2 = 36$$

Отже, у момент прямого пуску втрати в обмотках статора можуть бути приблизно у 36 разів більшими, ніж у номінальному режимі. Саме це є однією

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з головних причин інтенсивного нагрівання електродвигуна, прискореного старіння ізоляції та зниження ресурсу електропривода насосної установки. Для повнішої оцінки пускового режиму доцільно також врахувати перевантаження механічної частини, оскільки великі пускові струми супроводжуються електромагнітними ударами та динамічним зростанням моменту в системі «двигун – муфта – насос». З цієї причини в подальшому необхідно розглянути можливість обмеження пускового струму шляхом застосування пристрою плавного пуску.

2.3. Вибір пристрою плавного пуску та елементів силової частини

На основі розрахунків, виконаних у підрозділі 2.2, для електропривода насосної установки необхідно вибрати пристрій плавного пуску та основні елементи силової частини. Вибір виконується з урахуванням номінальної потужності електродвигуна, напруги живлення, номінального струму статора та особливостей режиму роботи насосного агрегату.

Для насосної установки CALPEDA NM 65-250 як привідний двигун прийнято асинхронний електродвигун типу 4A200M2Y3. За паспортними даними номінальна потужність двигуна становить $P_{2n}=37$ кВт, номінальна лінійна напруга статора $U_{1n}=380$ В, а номінальний струм, визначений розрахунком, дорівнює $I_n=78.07$ А. Отримані значення приймаються як вихідні при виборі пристрою плавного пуску та силового обладнання.

Для даного електропривода доцільно застосувати трифазний пристрій плавного пуску, розрахований на роботу в мережі змінного струму напругою 380 В частотою 50 Гц. Основною умовою вибору є відповідність його номінального струму параметрам двигуна. При цьому номінальний струм пристрою плавного пуску повинен бути не меншим за номінальний струм електродвигуна, а для забезпечення надійної роботи бажано приймати певний запас.

Умова вибору пристрою плавного пуску за струмом має вигляд:

$$I_{пп} \geq 1.1 I_n \quad (2.12)$$

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $I_{пп}$ — номінальний струм пристрою плавного пуску, А; I_n — номінальний струм двигуна, А.

Підставляючи розраховане значення номінального струму двигуна, отримаємо:

$$I_{пп} \geq 1.1 \cdot 78.07 = 85.88 \text{ А}$$

Отже, для даного електропривода необхідно вибрати пристрій плавного пуску з номінальним струмом не менше 86 А. З урахуванням стандартного ряду апаратури доцільно прийняти пристрій плавного пуску на 90 А або 100 А. Такий вибір забезпечує роботу електропривода без перевантаження силових елементів пристрою та створює необхідний запас за струмом.

Крім самого пристрою плавного пуску, до складу силової частини системи входять ввідний автоматичний вимикач, лінійний контактор, байпасний контактор та засоби захисту двигуна. Автоматичний вимикач вибирається за номінальною напругою та струмом кола, а також за умовою недопущення хибного спрацювання при пуску двигуна.

Для вибору автоматичного вимикача використаємо умову: $I_{авт} \geq 1.25 I_n$
Після підстановки маємо: $I_{авт} \geq 1.25 \cdot 78.07 = 97.59 \text{ А}$

Таким чином, для силового кола доцільно прийняти автоматичний вимикач на 100 А.

Контактор силового кола також повинен відповідати номінальному струму двигуна. Умова його вибору має вигляд: $I_{км} \geq I_n$.

Звідси випливає, що для даного електропривода необхідно застосувати контактор із номінальним струмом не менше 80 А. Практично доцільно вибрати контактор стандартного ряду на 95 А.

Для зменшення теплових втрат у силових тиристорах пристрою плавного пуску після завершення розгону двигуна доцільно передбачити байпасний контактор. Після виходу електродвигуна на усталений режим він шунтує силову частину пристрою плавного пуску, що зменшує нагрів апаратури та підвищує загальну ефективність роботи системи.

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Структурно силова частина системи плавного пуску може бути подана у такому вигляді: мережа живлення 380 В, автоматичний вимикач, лінійний контактор, пристрій плавного пуску, байпасний контактор, асинхронний електродвигун насосної установки.

Отже, на основі виконаних розрахунків для електропривода насосної установки обирається трифазний пристрій плавного пуску на напругу 380 В і номінальний струм 90–100 А, автоматичний вимикач на 100 А, а також силові контактори відповідного номіналу. Прийняті елементи силової частини забезпечують реалізацію плавного пуску двигуна та можуть бути використані в подальшому для оцінки впливу такого пуску на надійність системи. Результати вибору основних елементів силової частини системи плавного пуску, виконаного на основі розрахованих параметрів електропривода, зведено в таблицю 2.4

Таблиця 2.4 Вибір елементів силової частини системи плавного пуску

Елемент системи	Прийняте значення
Електродвигун	37 кВт, 78 А
Пристрій плавного пуску	90–100 А
Автоматичний вимикач	100 А
Лінійний контактор	95 А
Байпасний контактор	95 А
Мережа живлення	380 В, 50 Гц

Наведені в таблиці параметри підтверджують, що обрані елементи силової частини відповідають номінальним характеристикам електродвигуна та умовам роботи насосної установки. Прийняті рішення забезпечують реалізацію плавного пуску та створюють необхідний запас за струмом і потужністю для надійної роботи електропривода.

Для реалізації плавного пуску електропривода насосної установки обрано пристрій плавного пуску типу Schneider Electric Altistart ATS22D88Q, який розрахований на роботу в мережі змінного струму напругою 380 В та

номінальний струм 88 А, що відповідає розрахованим параметрам електродвигуна.



Рис. 2.3 Пристрій плавного пуску ATS22 88А 230-440В

Пристрій плавного пуску виконаний у компактному корпусі та призначений для встановлення в шафах керування електроприводами. Конструкція передбачає кріплення на монтажну панель, а також підключення силових і керуючих ланцюгів через клемні з'єднання. Що наведене на рис. 2.4

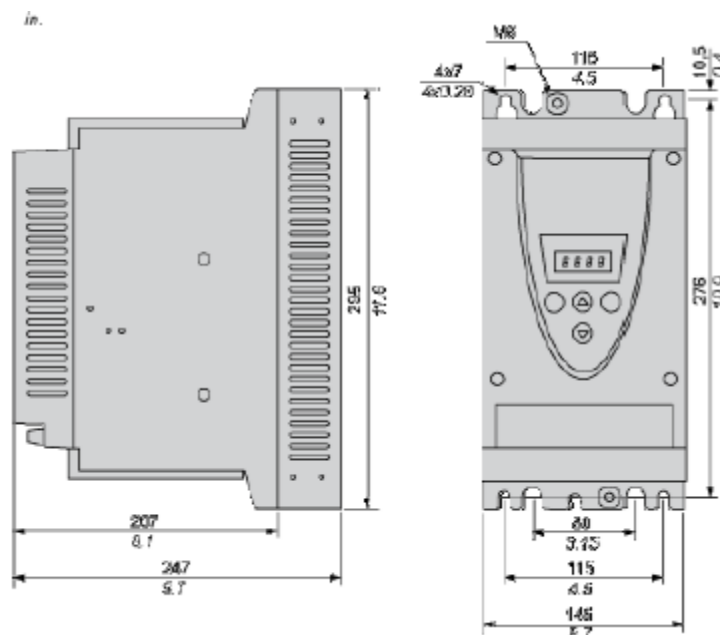


Рис. 2.4 Розміри пристрою плавного пуску та палені кріплення

На передній панелі пристрою розташовані:

- індикатор (дисплей) для відображення режимів роботи та параметрів;
- кнопки керування для налаштування часу пуску, напруги та інших параметрів;

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- світлодіодна індикація стану пристрою.

Силова частина пристрою містить тиристорні модулі, які здійснюють регулювання напруги на статорі електродвигуна під час пуску. За рахунок фазового керування напруга на двигуні плавно зростає від початкового значення до номінального, що забезпечує зменшення пускового струму та обмеження динамічних навантажень.

Конструктивно пристрій має розвинену систему охолодження у вигляді радіаторів, що забезпечує відведення тепла від силових елементів під час роботи. Це є важливим для забезпечення надійності пристрою при багаторазових пусках та тривалих режимах навантаження.

Електричне підключення пристрою передбачає включення його між мережею живлення та електродвигуном. У типовій схемі силового кола пристрій плавного пуску встановлюється після автоматичного вимикача і лінійного контактора. Після завершення пуску двигуна можливе підключення байпасного контактора, який шунтує силову частину пристрою та зменшує втрати потужності, рис. 2.5.

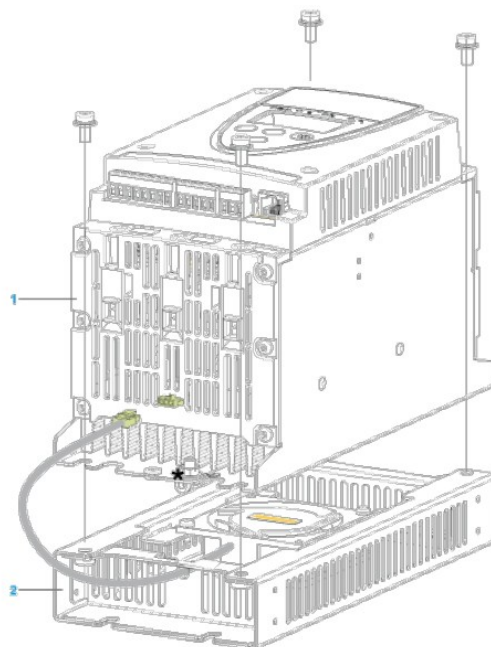


Рис.2.5 монтажна схема пристрою плавного пуску

Таким чином, обраний пристрій плавного пуску Schneider Electric Altistart ATS22D88Q відповідає вимогам електропривода насосної установки за номінальними параметрами, забезпечує плавний розгін двигуна та створює необхідні умови для подальшого аналізу впливу пускового режиму на надійність системи.

На основі виконаного вибору пристрою плавного пуску та елементів силової частини можна перейти до оцінки його впливу на роботу електропривода насосної установки. Застосування пристрою плавного пуску дозволяє змінити характер пускових режимів двигуна, а отже впливає на рівень струмових, теплових і механічних навантажень. У зв'язку з цим у наступному підрозділі доцільно оцінити вплив плавного пуску на надійність системи в цілому.

2.4. Оцінка впливу плавного пуску на надійність системи

Оцінка впливу плавного пуску на надійність системи електроприводу базується на суттєвому зменшенні механічних та електричних навантажень під час запуску та зупинки електродвигунів.

Основні аспекти впливу плавного пуску (ППП/Soft Starter) на надійність системи:

Зменшення механічних навантажень: Усунення ударних моментів знижує втомлюваність металу валів, руйнування редукторів, пасів та підшипників, що підвищує термін експлуатації механічної частини.

Зниження електричних навантажень: Плавний пуск обмежує пускові струми, що зменшує нагрівання обмоток двигуна, запобігає пошкодженню ізоляції та зменшує просідання напруги в мережі, тим самим підвищуючи надійність роботи двигуна та сусіднього обладнання.

Захисні функції: Сучасні пристрої плавного пуску мають вбудовані функції захисту від перевантажень, перегріву, зникнення фаз, що запобігає аварійним ситуаціям.

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оптимізація роботи: Застосування плавного пуску дозволяє уникнути гідравлічних ударів у насосних системах та забезпечує плавний розгін, що загалом підвищує надійність технологічного процесу.

Надійність електропривода насосної установки значною мірою визначається умовами пуску асинхронного двигуна. Саме під час пуску в елементах системи виникають найбільші електричні, теплові та механічні навантаження, які впливають на стан обмоток двигуна, ізоляції, контактної апаратури, муфтового з'єднання та робочих органів насосного агрегату. Тому оцінка впливу плавного пуску на надійність системи є важливим етапом обґрунтування прийнятого технічного рішення. Як було встановлено в підрозділі 2.2, при прямому пуску асинхронного двигуна виникає значний пусковий струм, величина якого може у декілька разів перевищувати номінальний. Це призводить до різкого зростання втрат в обмотках статора, оскільки вони визначаються квадратичною залежністю від струму:

$$\Delta P \sim I^2 \quad (2.13)$$

Отже, навіть короточасний пуск супроводжується інтенсивним тепловиділенням, що викликає додатковий нагрів обмоток двигуна. При частих пусках або важких умовах експлуатації це може спричинити прискорене старіння ізоляції та зменшення ресурсу електродвигуна.

Застосування пристрою плавного пуску дозволяє обмежити пусковий струм до значень, суттєво менших, ніж при прямому вмиканні двигуна в мережу. У результаті зменшуються електричні втрати, послаблюється тепловий вплив на ізоляцію та поліпшуються умови роботи статора і ротора. Зниження пускового струму також позитивно впливає на роботу комутаційної апаратури, оскільки зменшується струмове навантаження на контакти автоматичних вимикачів і контакторів.

Крім електричного впливу, плавний пуск має важливе значення для механічної надійності системи. При прямому пуску двигун розвиває момент стрибкоподібно, що викликає ударні навантаження в системі «двигун – муфта – насос». Такі навантаження негативно впливають на муфтове з'єднання, вал,

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підшипники та робоче колесо насоса. У випадку плавного пуску момент наростає поступово, що сприяє зменшенню динамічних перевантажень і покращує умови експлуатації механічної частини привода.

Для насосних установок каналізаційних станцій це має особливе значення, оскільки робота таких агрегатів часто супроводжується нерівномірним навантаженням, наявністю домішок у рідині та підвищеним опором під час запуску. За таких умов плавний пуск знижує імовірність механічних перевантажень і сприяє більш стабільному розгону насосного агрегату.

Додатковим позитивним ефектом є зменшення гідравлічних ударів у трубопровідній системі. При різкому розгоні насоса швидкість руху рідини зростає стрибкоподібно, що може викликати небажані перепади тиску. Плавне наростання швидкості обертання двигуна забезпечує більш м'який вихід насоса на робочий режим, унаслідок чого зменшується навантаження на трубопроводи, арматуру та ущільнення.

Таким чином, застосування пристрою плавного пуску позитивно впливає на надійність системи одночасно в кількох напрямках: зменшує пускові струми, знижує теплове навантаження на електродвигун, обмежує динамічні моменти в механічній частині привода та послаблює гідравлічні удари в насосній установці. У сукупності це сприяє підвищенню довговічності електропривода, зменшенню ймовірності аварійних режимів та покращенню експлуатаційних показників насосної станції.

Для більш наочного оцінювання впливу способу пуску на роботу електропривода доцільно розглянути характер зміни струму двигуна при різних методах запуску. На рисунку 2.6 наведено порівняння пускових струмів асинхронного двигуна при прямому пуску, пуску за схемою «зірка–трикутник» та плавному пуску.

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

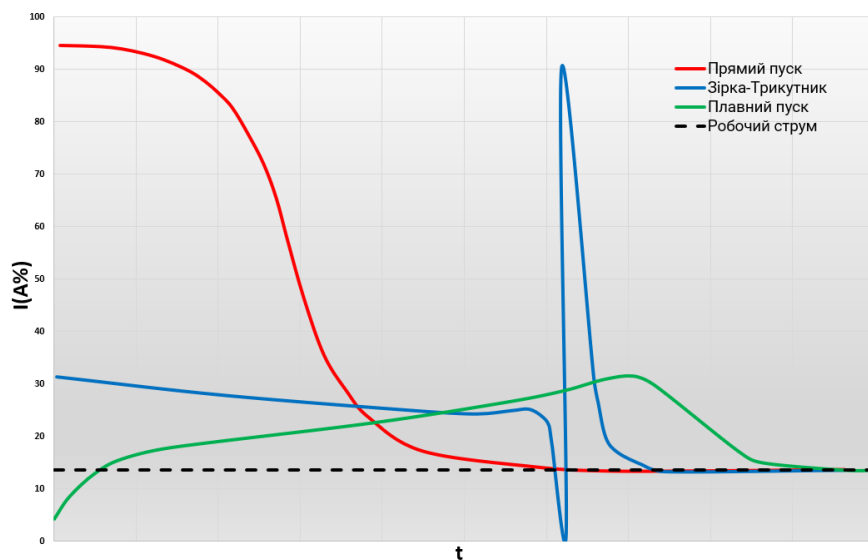


Рис. 2.6 Струм при пуску двигуна

Як видно на рисунку 2.6, наведено Прямий пуск (червона лінія). Прямий пуск передбачає подачу повної номінальної напруги на двигун одразу після його включення. Це призводить до того, що пусковий струм досягає свого максимального значення, яке може бути в 6-8 разів більше номінального струму двигуна. Червона лінія показує високий пусковий струм, який поступово знижується до робочого рівня. Це пояснюється тим, що на обмотки статора одразу подається повна напруга мережі, внаслідок чого пусковий струм може у кілька разів перевищувати номінальний. Такий режим є найпростішим з точки зору технічної реалізації, однак супроводжується значними електромагнітними та тепловими навантаженнями на двигун, а також підвищеним динамічним впливом на механічну частину насосного агрегату.

При пуску за схемою «зірка–трикутник» початковий струм є меншим, ніж при прямому підключенні, оскільки в початковий період напруга на фазах двигуна знижена. Однак у момент перемикання зі схеми «зірка» на схему «трикутник» спостерігається різкий стрибок струму. Це погіршує плавність розгону та може викликати додаткові перехідні навантаження як в електричній, так і в механічній частині системи. Пуск "Зірка-Трикутник" (синя лінія), схема підключення на рис.2.7

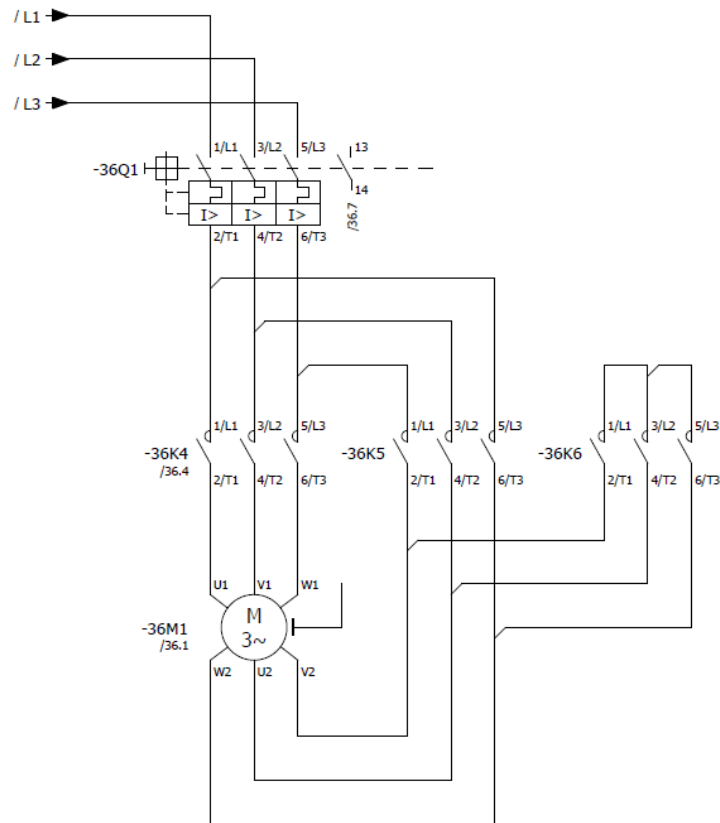


Рис.2.7 Пуск "Зірка-Трикутник"

Характеристика: При запуску методом "Зірка-Трикутник" на початковому етапі обмотки двигуна з'єднуються за схемою "Зірка", що знижує напругу на обмотках до 58% від номінального значення. Після того, як двигун досягає певної швидкості, обмотки перемикаються на схему "Трикутник", подаючи повну напругу. Синя лінія показує, що пусковий струм спочатку є значно меншим порівняно з прямим пуском, але під час перемикання з "Зірки" на "Трикутник" відбувається різкий стрибок струму. Це знижує пусковий струм і механічні навантаження, але перемикання може викликати короточасні піки струму, що також може бути проблематичним для мережі.

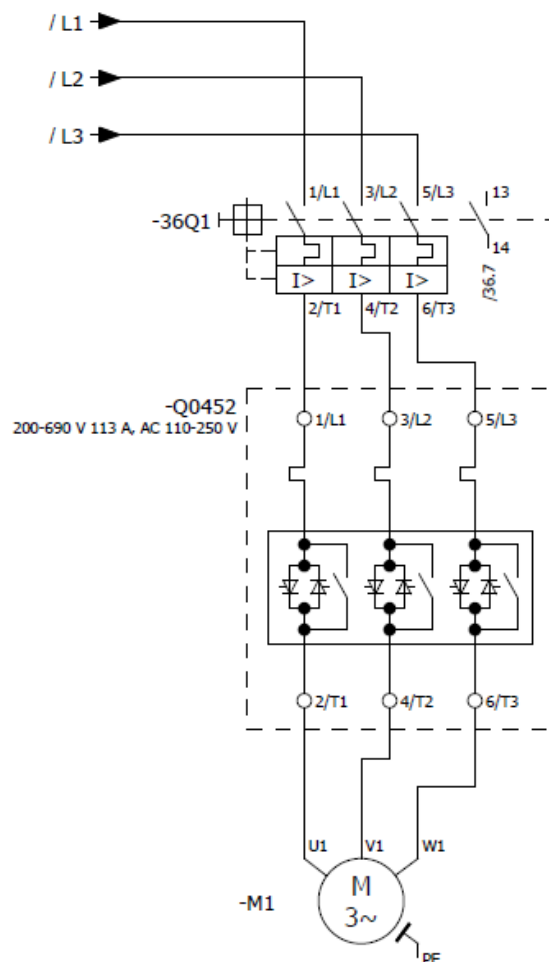


Рис. 2.8 Схема плавний пуск

Найбільш сприятливий характер зміни струму спостерігається при плавному пуску. У цьому випадку напруга на статорі двигуна зростає поступово, а разом із нею плавно змінюється і струм. Відсутність різких стрибків струму забезпечує м'якший розгін двигуна, зменшує теплові перевантаження обмоток та знижує ударні навантаження на муфту, вал і робоче колесо насоса.

Для насосних установок каналізаційних станцій така особливість має важливе практичне значення. Умови експлуатації фекальних насосів пов'язані з можливими нерівномірними навантаженнями, наявністю домішок у рідині та необхідністю забезпечення стабільного й надійного запуску агрегату. За таких умов прямий пуск є найменш сприятливим, оскільки створює максимальні навантаження на всі елементи системи. Пуск за схемою «зірка–трикутник» частково знижує пусковий струм, однак не усуває проблему стрибків у

перехідний момент. Саме тому для даної насосної установки більш доцільним є застосування пристрою плавного пуску.

Використання пристрою плавного пуску дозволяє не лише обмежити пусковий струм, а й покращити умови роботи всього електропривода. За рахунок плавного наростання напруги зменшуються втрати потужності в пусковому режимі, знижується нагрів обмоток, послаблюється механічний вплив на елементи привода та зменшується ймовірність гідравлічних ударів у трубопровідній системі. Це безпосередньо сприяє підвищенню експлуатаційної надійності насосного агрегату та зменшенню ймовірності аварійних режимів.

Висновки до розділу 2.

Таким чином, аналіз характеру зміни пускового струму при різних способах запуску показує, що для електропривода фекального насоса найбільш раціональним є застосування плавного пуску. Саме цей спосіб забезпечує найбільш м'який режим розгону, найменший рівень динамічних перевантажень і найкращі умови для підвищення надійності системи.

Використання плавного пуску для асинхронного двигуна є доцільним та економічно обґрунтованим рішенням, яке дозволяє значно підвищити ефективність і надійність роботи електродвигунів. Завдяки поступовому збільшенню напруги і контролю пускового струму, плавний пуск знижує механічні навантаження на обладнання, зменшує споживання енергії та продовжує термін служби двигунів і пов'язаних з ними компонентів. Інвестиції в сучасні системи плавного пуску окупаються за рахунок зниження експлуатаційних витрат, мінімізації простоїв і забезпечення стабільної роботи обладнання, що є критично важливим для багатьох промислових процесів.

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ЗМІНІ ЧАСТОТИ

3.1. Розроблення математичної моделі електропривода насосної установки

Моделювання перехідних процесів електропривода насосної установки з асинхронним двигуном у середовищі MATLAB/Simulink було виконано з метою аналізу та відтворення динамічної поведінки системи при зміні частоти живлення та умов пуску. Це дозволяє оцінити реакцію електропривода у часі, зокрема визначити характеристики розгону, зміну струмів і моментів, процес стабілізації швидкості, а також вплив плавного пуску на зниження динамічних навантажень і підвищення надійності роботи насосної установки.

Для побудови математичної моделі електропривода насосної установки необхідно попередньо визначити основні номінальні параметри асинхронного двигуна, які надалі використовуються як вихідні дані при моделюванні. До таких параметрів належать кутова частота напруги статора, кутова швидкість ідеального холостого ходу, номінальна кутова швидкість ротора, номінальний і критичний моменти, а також номінальні значення фазної напруги та струму статора.

Знаходимо кутову частоту напруги статора:

$$\omega_{0n} = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314 \text{ (рад/с)}$$

Кутова швидкість ідеального холостого ходу асинхронного двигуна визначається за формулою:

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_{0n}}{p_n} = \frac{314}{1} = 314 \text{ (рад/с)}$$

Номінальна кутова швидкість двигуна становить:

$$\omega_n = \omega_{xx}(1 - s_n) = 314(1 - 0.019) = 308.19 \text{ (рад/с)}$$

Номінальний момент навантаження двигуна визначимо як відношення номінальної потужності до номінальної кутової швидкості:

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_n = \frac{P_{2n}}{\omega_n} = \frac{37000}{308.19} = 120.05 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Критичний момент двигуна, який визначається за перевантажувальною здатністю, дорівнює:

$$M_k = \lambda \cdot M_n = 2.5 \cdot 120.05 = 300.139 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Номінальне діюче значення фазної напруги статора становить:

$$U_n = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ (В)}$$

Номінальний струм статора визначається за формулою:

$$I_n = \frac{P_{2n}}{3 \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{37000}{3 \cdot 220 \cdot 0.9 \cdot 0.8} = 78.07 \text{ (А)}$$

Для подальшого використання в математичній моделі визначимо амплітудні значення фазної напруги і струму статора:

$$U_{na} = \sqrt{2} \cdot U_n = \sqrt{2} \cdot 220 = 311 \text{ (В)}$$

$$I_{na} = \sqrt{2} \cdot I_n = \sqrt{2} \cdot 78.07 = 110.41 \text{ (А)}$$

Амплітудне значення потокозчеплення статора в режимі холостого ходу при $R_1=0$ визначається як:

$$\psi_{1xx} = \frac{U_{na}}{\omega_{0n}} = \frac{311}{314} = 0.987 \text{ (Вб)}$$

Отримані номінальні параметри двигуна використовуються як вихідні дані при побудові математичної моделі електропривода насосної установки та подальшому розрахунку параметрів Т-подібної схеми заміщення.

3.2. Моделювання плавного пуску при зміні частоти

Для побудови математичної моделі асинхронного електродвигуна, яка використовується при моделюванні перехідних процесів у середовищі MATLAB/Simulink, доцільно застосувати Т-подібну схему заміщення. Така схема дозволяє з достатньою точністю врахувати електромагнітні процеси в двигуні та використовується для розрахунку струмів, напруг, моменту і потокозчеплення.

Математична модель асинхронного двигуна в даній роботі будується на основі Т-подібної схеми заміщення, яка наведена на рисунку 3.1. Разом з тим вихідні каталогові параметри двигуна, що використовуються для розрахунку, задані для Г-подібної схеми заміщення, яка наведена на рисунку 3.2. У зв'язку з цим для подальшого моделювання необхідно виконати перерахунок параметрів із Г-подібної схеми заміщення в еквівалентну Т-подібну.

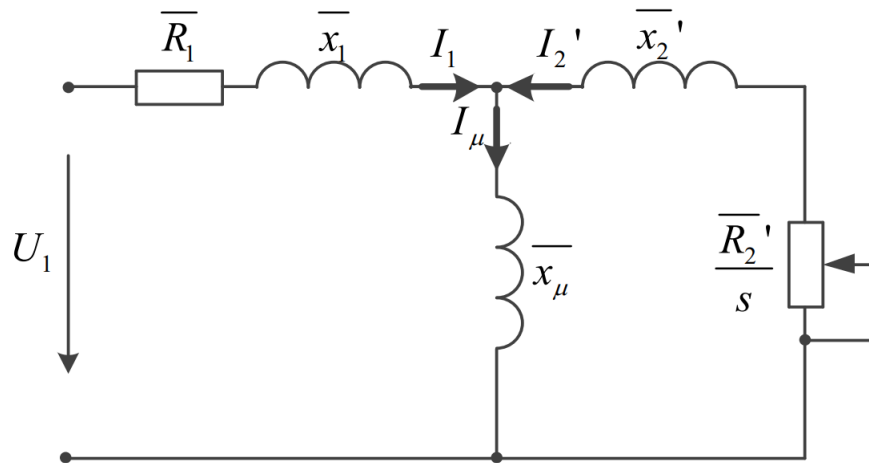


Рис. 3.1 – Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Перехід від Г-подібної схеми до Т-подібної є необхідним, оскільки саме Т-подібна схема більш зручна для побудови математичної моделі в середовищі MATLAB/Simulink та подальшого аналізу електромеханічних перехідних процесів. При цьому параметри обох схем є еквівалентними за своїм фізичним змістом, але відрізняються формою подання елементів і способом їх урахування в розрахунках.

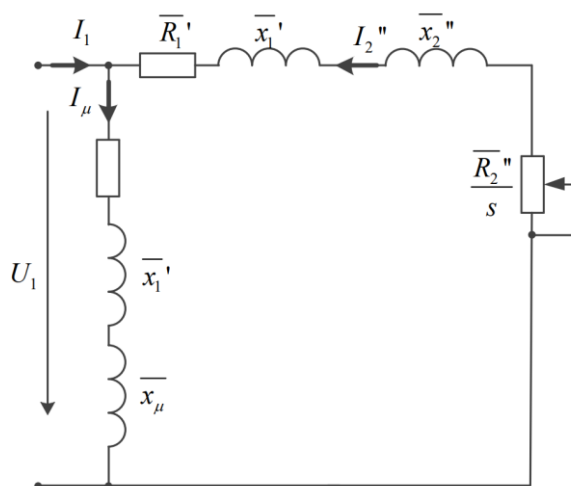


Рис. 3.2 – Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Перехід від Г-подібної схеми до Т-подібної є необхідним, оскільки саме Т-подібна схема більш зручна для побудови математичної моделі в середовищі MATLAB/Simulink та подальшого аналізу електромеханічних перехідних процесів. При цьому параметри обох схем є еквівалентними за своїм фізичним змістом, але відрізняються формою подання елементів і способом їх урахування в розрахунках.

Для відповідного перерахунку параметрів із Г-подібної схеми заміщення в Т-подібну використовується стандартна методика еквівалентного перетворення параметрів асинхронного двигуна. На основі цього перетворення отримуються параметри R_1 , x_1 , R_2' , x_2' та x_μ , які надалі застосовуються в математичній моделі електропривода насосної установки.

Знаходимо коефіцієнт перерахунку між Т-подібною та Г-подібною схемами заміщення за формулою:

$$c_1 = \frac{x_\mu + \sqrt{x_\mu^2 + 4 \cdot x_1' \cdot x_\mu}}{2 \cdot x_\mu} \quad (3.1)$$

$$c_1 = \frac{4.1 + \sqrt{(4.1)^2 + 4 \cdot 0.094 \cdot 4.1}}{2 \cdot 4.1} = 1.0224$$

Розрахуємо параметри Т-подібної схеми заміщення у відносних одиницях:

$$x_1 = \frac{x_1'}{c_1}, \quad R_1 = \frac{R_1'}{c_1} \quad (3.2)$$

$$x_2' = \frac{x_2''}{c_1^2}, \quad R_2' = \frac{R_2''}{c_1^2} \quad (3.3)$$

$$\bar{x}_1 = \frac{0.094}{1.0224} = 0.0919, \quad \bar{R}_1 = \frac{0.029}{1.0224} = 0.0284$$

$$\bar{x}_2' = \frac{0.12}{(1.0224)^2} = 0.1174, \quad \bar{R}_2' = \frac{0.021}{(1.0224)^2} = 0.0205$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях визначимо за співвідношенням:

$$Z = \bar{Z} \cdot \frac{U_n}{I_n} \quad (3.4)$$

Тоді:

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x_1 = \overline{x_1} \cdot \frac{U_n}{I_n} = 0.0919 \cdot \frac{220}{78.07} = 0.2583 \text{ (Ом)},$$

$$R_1 = \overline{R_1} \cdot \frac{U_n}{I_n} = 0.0284 \cdot \frac{220}{78.07} = 0.0797 \text{ (Ом)},$$

$$x'_2 = \overline{x'_2} \cdot \frac{U_n}{I_n} = 0.1174 \cdot \frac{220}{78.07} = 0.3298 \text{ (Ом)},$$

$$R'_2 = \overline{R'_2} \cdot \frac{U_n}{I_n} = 0.0205 \cdot \frac{220}{78.07} = 0.0577 \text{ (Ом)},$$

$$x_\mu = \overline{x_\mu} \cdot \frac{U_n}{I_n} = 4.1 \cdot \frac{220}{78.07} = 11.5208 \text{ (Ом)}$$

Індуктивності розсіювання статора і ротора визначимо за формулами:

$$L_{1\sigma} = \frac{x_1}{\omega_0} = \frac{0,258}{314} = 0,000833 \text{ Гн}$$

$$L_{2\sigma} = \frac{x'_2}{\omega_0} = \frac{0,329}{314} = 0,001 \text{ Гн}$$

Індуктивність намагнічуючого контуру:

$$L_m = \frac{x_\mu}{\omega_0} = \frac{11.5208}{314} = 0.0367 \text{ (Гн)}.$$

Індуктивності статора і ротора:

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma} = 0.0367 + 0.000822 = 0.03752 \text{ Гн} \approx 0.0375 \text{ Гн}$$

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma} = 0.0367 + 0.001 = 0.03772 \text{ Гн} \approx 0.0377 \text{ Гн}$$

На основі вище розрахованих параметрів обчислимо значення коефіцієнтів математичної моделі α , β , γ , σ , μ .

$$\alpha = \frac{R'_2}{L_2} = \frac{0.0205}{0.0377} = 0.543 \text{ (Ом/Гн)}$$

$$\alpha_1 = \frac{R_1}{L_1} = \frac{0.0284}{0.0375} = 0.75 \text{ (Ом/Гн)}$$

$$\sigma = L_1 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2} \right)$$

$$\sigma = 0.0375 \left(1 - \frac{(0.0367)^2}{0.0375 \cdot 0.0377} \right) = 0.001773 \text{ (Гн)}$$

$$\beta = \frac{L_m}{L_2 \cdot \sigma} = \frac{0.0367}{0.0377 \cdot 0.001773} = 549.0395 \text{ (1/Гн)}$$

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha \cdot L_m \cdot$$

$$\gamma = \frac{0.0284}{0.001773} + 0.543 \cdot 0.0367 \cdot 549.0395 = 26.959 \text{ (Ом/Гн)}$$

$$\mu_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0.0367}{0.0377} = 1.4602$$

Отримані значення коефіцієнтів математичної моделі використовуються при побудові імітаційної моделі асинхронного двигуна та дозволяють виконати аналіз перехідних процесів електропривода насосної установки при реалізації плавного пуску та зміні частоти живлення. На основі виконаних розрахунків визначено основні параметри математичної моделі асинхронного двигуна, які наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри двигуна 4A280M8У3

Параметр	Значення	Параметр	Значення
P2n, кВт	37	R1, Ом	0.0284
ω, рад/с	314	R2, Ом	0.0205
ω, рад/с	308.19	L1, Гн	0.0375
Mn, Н·м	120.055	L2, Гн	0.0377
Mk, Н·м	300.139	Lm, Гн	0.0367
λ	2.5	α, Ом/Гн	0.543
I _{на} , А	110.418	α1, Ом/Гн	0.75
ψ, Вб	0.987	ν, Гн	0.001773
η	0.9	β, 1/Гн	549.0395
cosφ	0.8	γ, Ом/Гн	26.959
J, кг·м ²	0.15	μ1	0.9734

Отримані параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях використовуються при побудові математичної моделі асинхронного двигуна в середовищі MATLAB/Simulink. Це дозволяє адекватно відтворити електромагнітні та механічні процеси в електроприводі насосної установки при моделюванні плавного пуску та зміні частоти живлення.

Механічна характеристика асинхронного двигуна може бути визначена аналітичним методом за формулою Клосса, яка встановлює залежність електромагнітного моменту від ковзання. Даний підхід є спрощеним, але достатньо точним для інженерних розрахунків.

Формула Клосса записується у вигляді:

$$M = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1+q)}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + 2 \cdot q} \quad (3.5)$$

$$q = \frac{s_k \cdot R_1}{R_2} = \frac{R_1}{\sqrt{R_1^2 + x_k^2}} = \frac{0.115 \cdot 0.0284}{0.0205} = 0.159$$

$$x_k = x_1 + x_2' = 0.2583 + 0.3298 = 0.5881$$

M — електромагнітний момент двигуна, Н·м; M_k — критичний (максимальний) момент двигуна, Н·м; s — поточне ковзання двигуна; s_k — критичне ковзання; q — коефіцієнт, що враховує вплив активного опору статора; R_1 — активний опір обмотки статора, Ом; R_2 — приведений активний опір ротора, Ом; x_k — сумарний індуктивний опір розсіювання, Ом; x_1 — індуктивний опір розсіювання статора, Ом; x_2' — приведений індуктивний опір розсіювання ротора, Ом.

Значення критичного моменту M_k та критичного ковзання s_k є одними з основних параметрів, що визначають форму механічної характеристики асинхронного двигуна та його поведінку в пускових і перехідних режимах. Ці величини можуть бути прийняті за паспортними або довідниковими даними для конкретного типу двигуна, якщо такі відомості наведені в каталозі чи технічній документації виробника. Такий підхід є доцільним, оскільки паспортні значення вже враховують конструктивні особливості машини і підтверджені заводськими випробуваннями.

Разом з тим у розрахункових і моделювальних задачах значення M_k та s_k можуть бути визначені і аналітично на основі відомих параметрів двигуна, зокрема активних та реактивних опорів схеми заміщення, номінального моменту, перевантажувальної здатності та умов роботи електропривода.

Такий спосіб є особливо корисним при побудові математичної моделі, оскільки дозволяє узгодити паспортні дані двигуна з параметрами схеми заміщення та надалі використовувати їх у середовищі MATLAB/Simulink для аналізу механічних характеристик, перехідних процесів і режимів плавного пуску.

Критичний момент:

$$M_k = \frac{3 \cdot p_n \cdot U_n^2}{2 \cdot \omega_{0n} \left(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + x_k^2} \right)} \quad (3.6)$$

Критичне ковзання:

$$s_k = \pm \frac{R_2}{\sqrt{R_1^2 + x_k^2}} \quad (3.7)$$

Де p_n — число пар полюсів;

U_n — номінальна фазна напруга, В; ω_0 — синхронна кутова швидкість, рад/с; R_1 — активний опір статора, Ом; R_2 — приведений опір ротора, Ом; x_k — сумарний індуктивний опір розсіювання, Ом. де $x_k = x_1 + x_2'$ — індуктивний опір короткого замикання, знак «+» застосовують для розрахунку значень критичного моменту та ковзання в рушійному режимі, а знак «-» в генераторному.

Підставляючи числові значення параметрів двигуна у вирази для критичного моменту та критичного ковзання, для двигунного режиму отримаємо:

$$\begin{aligned} M_k &= \frac{3 \cdot p_n \cdot U_n^2}{2 \cdot \omega_{0n} \left(R_1 + \sqrt{R_1^2 + x_k^2} \right)} \\ &= \frac{3 \cdot 1 \cdot 220^2}{2 \cdot 314 \cdot \left(0.0284 + \sqrt{(0.0284)^2 + (0.5881)^2} \right)} = 374.62 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \\ s_k &= \frac{R_2}{\sqrt{R_1^2 + x_k^2}} = \frac{0.0205}{\sqrt{(0.0284)^2 + (0.5881)^2}} = 0.0348 \end{aligned}$$

M_k — критичний момент асинхронного двигуна, Н·м; s_k — критичне ковзання; p_n — число пар полюсів; U_n — номінальна фазна напруга статора, В; ω_0 — кутова частота напруги статора, рад/с; R_1 — активний опір статора,

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ом; R_2 — приведений активний опір ротора, Ом; x_k — сумарний індуктивний опір розсіювання, Ом.

Генераторний режим

$$M_k = \frac{3 \cdot p_n \cdot U_n^2}{2 \cdot \omega_{0n} (R_1 - \sqrt{R_1^2 + x_k^2})} =$$

$$= \frac{3 \cdot 1 \cdot 220^2}{2 \cdot 314 \cdot (0.0284 - \sqrt{(0.0284)^2 + (0.5881)^2})}$$

$$= -412.59 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

$$s_k = -\frac{R_2}{\sqrt{R_1^2 + x_k^2}} = -\frac{0.0205}{\sqrt{(0.0284)^2 + (0.5881)^2}} = -0.0348$$

Від'ємні значення критичного моменту та ковзання відповідають генераторному режиму роботи асинхронного двигуна. Такий режим може виникати при гальмуванні або при перевищенні швидкості ротора над синхронною, що є важливим при аналізі динамічних процесів електропривода та оцінці його стійкості.

Для визначення номінального ковзання асинхронного двигуна використовується аналітична залежність, що пов'язує критичне ковзання з перевантажувальною здатністю двигуна. Даний вираз дозволяє отримати значення номінального ковзання на основі вже визначених параметрів s_k та λ :

$$s_n = \frac{s_k}{\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}} = \frac{0.0348}{2.5 + \sqrt{(2.5)^2 - 1}} = 0.00726$$

Критичні точки, а відповідно і природна характеристика також можуть бути розраховані за наближеними формулами, у випадку, коли вони не наведені в довіднику. Для цього визначають коефіцієнт розсіювання:

$$\sigma_1 = \frac{L_{1\sigma}}{L_m} = \frac{0.000822}{0.0367} = 0.02239$$

$$\sigma_2 = \frac{L_{2\sigma}}{L_m} = \frac{0.001}{0.0367} = 0.0272$$

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma' = 1 - \frac{1}{(1 + \sigma_1)(1 + \sigma_2)} = 1 - \frac{1}{(1 + 0.02239)(1 + 0.0272)} = 0.231$$

Критичне ковзання визначається за виразом:

$$s_k = \frac{R_2}{\sigma' \cdot \omega_{0n} \cdot L_2} = \frac{0.0205}{0.231 \cdot 314 \cdot 0.0377} = 0.00749$$

Отримане значення критичного ковзання використовується при побудові механічної характеристики асинхронного двигуна та аналізі його пускових властивостей.

Номінальне ковзання визначається за виразом:

$$s_n = s_k \sqrt{\sigma'} = 0.00749 \cdot \sqrt{0.231} = 0.0359$$

Отримане значення номінального ковзання характеризує робочу точку асинхронного двигуна в усталеному режимі та використовується при побудові механічної характеристики і моделюванні перехідних процесів електропривода.

Перевантажувальна здатність:

$$\lambda = \frac{1 + \sigma'}{2\sqrt{\sigma'}} = \frac{1 + 0.231}{2\sqrt{0.231}} = 1.24$$

Отримане значення $\lambda=1.24$ характеризує співвідношення критичного та номінального моментів і використовується при оцінці механічної характеристики двигуна, зокрема для визначення запасу по моменту при пуску та можливості роботи в перевантажених режимах.

Критичний момент визначається за формулою:

$$M_k = \lambda \cdot M_n = 1.24 \cdot 120.05 = 148.86 \text{ (Н}\cdot\text{м)}$$

Критичний момент визначає граничну здатність двигуна розвивати навантаження і використовується при аналізі стійкості роботи електропривода, особливо в режимах пуску та перевантаження. На основі

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконаних розрахунків параметрів асинхронного електродвигуна побудовано його механічні характеристики. Для порівняння на рисунку 3.3 наведено дві залежності: характеристику, отриману за формулою Клосса з використанням довідкових значень.

Механічні характеристики асинхронного двигуна, отримані за результатами розрахунку та за довідковими даними, наведено на рисунку 3.3.

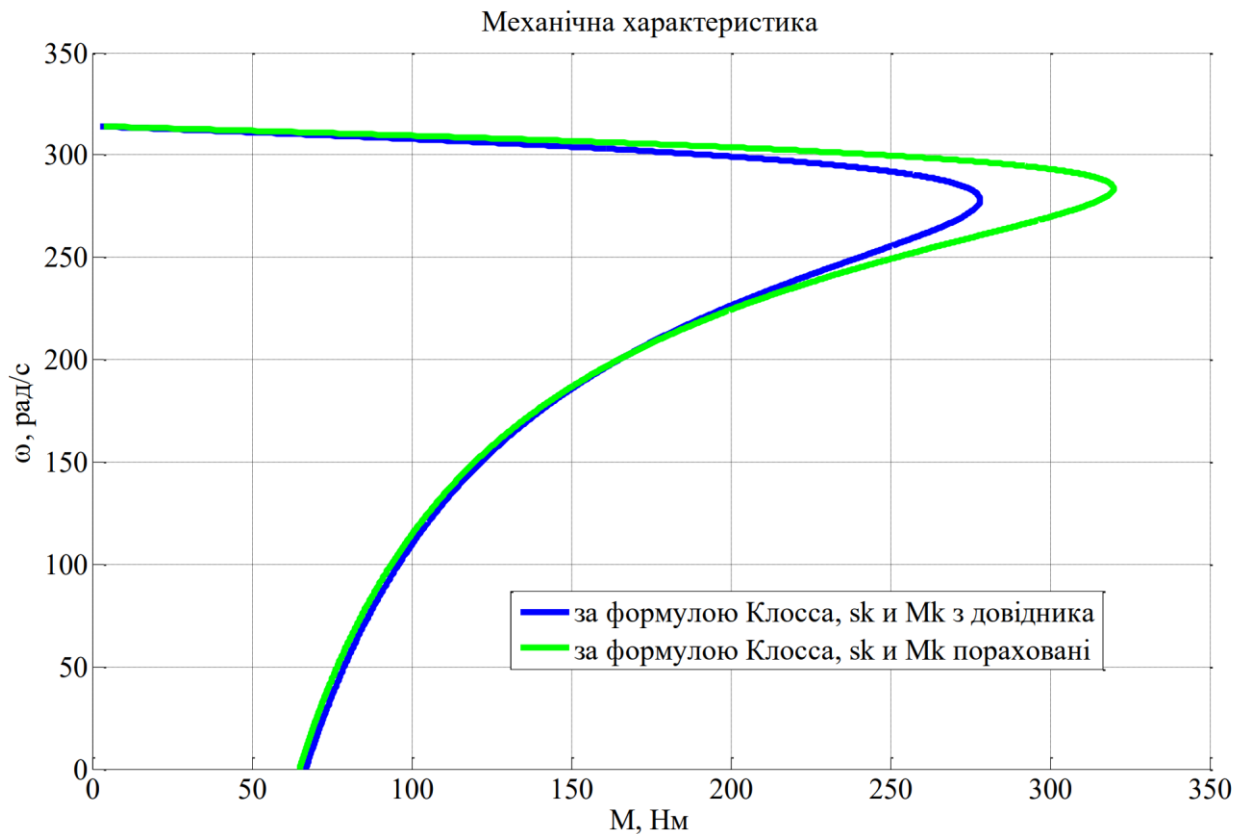


Рис. 3.3 Механічні характеристики асинхронного електродвигуна

Як видно з рисунка 3.3, обидві механічні характеристики мають близький загальний вигляд, що підтверджує коректність виконаних розрахунків. Найбільші відмінності спостерігаються в області критичного моменту, де розрахована характеристика дає дещо більше значення моменту порівняно з характеристикою, побудованою за довідковими параметрами. Водночас у робочій області швидкостей криві є достатньо близькими, що дозволяє вважати отримані результати придатними для подальшого аналізу

3.3. Аналіз результатів моделювання та оцінка ефективності запропонованого рішення

Для оцінювання ефективності запропонованого рішення щодо забезпечення плавного пуску електропривода насосів каналізаційних станцій виконано моделювання перехідних процесів у системі автоматичного керування. Основною метою даного аналізу є дослідження динамічних характеристик електропривода при зміні керуючого впливу, а також визначення впливу частотного регулювання на режим роботи насосного агрегату.

Моделювання здійснюється на основі розробленої математичної моделі асинхронного електродвигуна з урахуванням параметрів Т-подібної схеми заміщення, а також структурної моделі системи автоматичного керування, що включає регулятор, частотний перетворювач та електромеханічну частину. При цьому враховується вплив зовнішнього збурення у вигляді моменту навантаження, який формується насосом залежно від гідравлічних умов роботи.

У процесі моделювання досліджуються основні перехідні характеристики системи, зокрема зміна швидкості обертання, електромагнітного моменту, струму статора та напруги живлення електродвигуна. Отримані залежності дозволяють оцінити якість перехідного процесу, наявність перерегулювання, тривалість розгону та рівень електромеханічних навантажень у системі.

Аналіз результатів моделювання дає можливість визначити ступінь ефективності використання частотного керування для забезпечення плавного пуску електропривода, а також оцінити його вплив на зниження пускових струмів, обмеження динамічних навантажень та підвищення надійності роботи насосної установки в умовах змінного навантаження.

Для оцінки характеру зміни електромагнітного моменту асинхронного електродвигуна при виході на робочий режим побудовано його часову залежність. Отримана крива відображає процес встановлення моменту після пуску електропривода насосної установки на рис. 3.4.

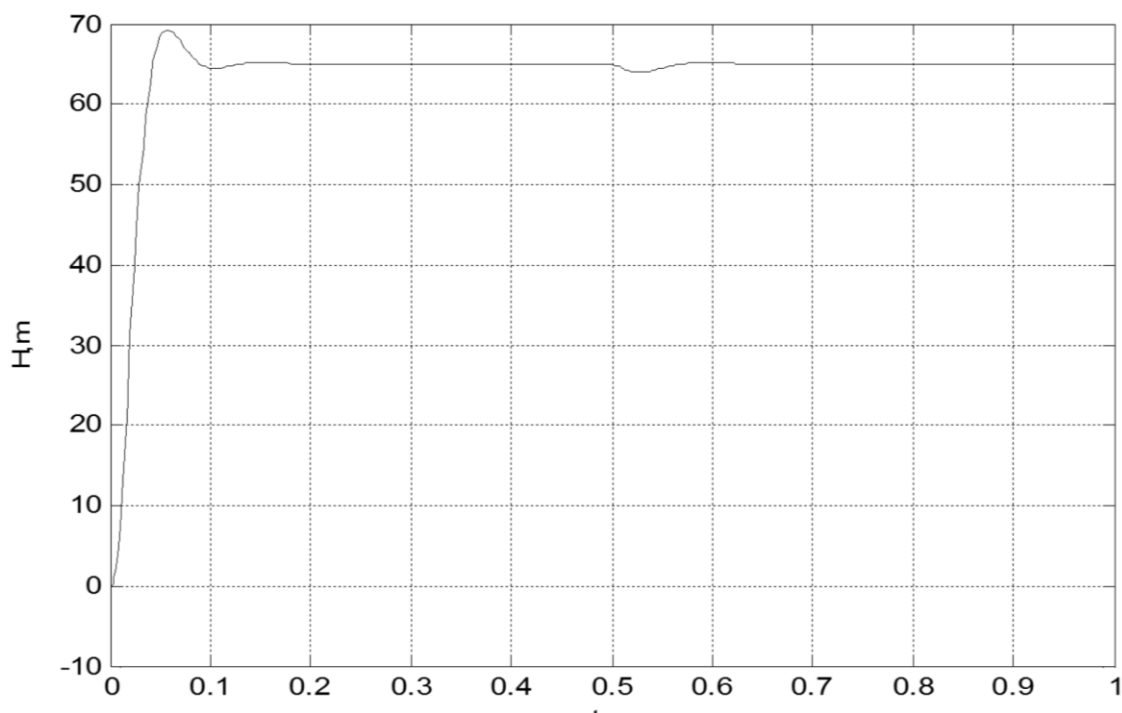


Рис. 3.4 зміна швидкості обертання електропривода у часі при пуску

З рисунка видно, що у початковий момент часу електромагнітний момент швидко зростає та досягає максимального значення, після чого спостерігається незначне перерегулювання. Надалі момент поступово зменшується і стабілізується на усталеному рівні.

Перехідний процес характеризується короткочасними затухаючими коливаннями, що зумовлені інерційністю електромеханічної системи. Час встановлення є незначним, що свідчить про достатню швидкодію електропривода.

Отриманий характер зміни моменту підтверджує можливість стабільної роботи насосного агрегата після пуску без тривалих перевантажень, що є

важливим для забезпечення надійності електродвигуна та механічної частини установки.

Для оцінки електричних навантажень у процесі пуску електропривода насосної установки побудовано часову залежність струму статора асинхронного електродвигуна. Отримана крива дозволяє проаналізувати характер пускових струмів та їх зміну в процесі виходу на робочий режим.

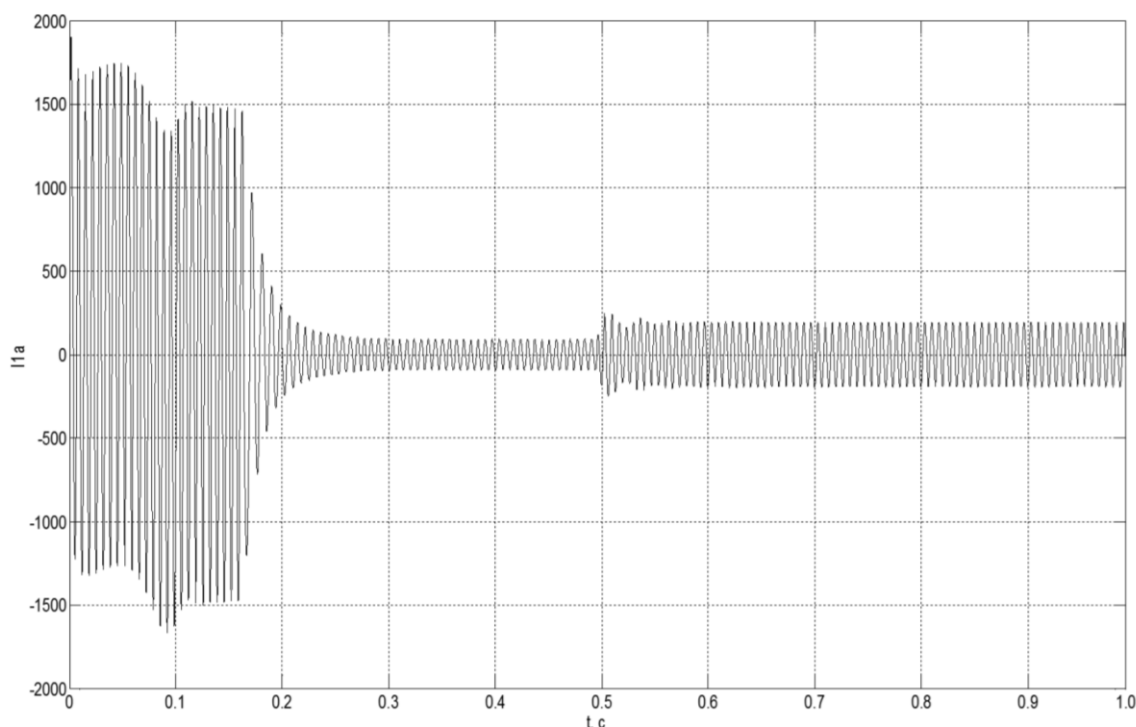


Рис. 3.5 часова залежність електромагнітного моменту двигуна в перехідному режимі

З рисунка видно, що у початковий момент часу струм досягає значних значень, що суттєво перевищують усталений режим. Це пояснюється пусковими процесами в асинхронному електродвигуні, коли відсутня протидіюча ЕРС і струм обмежується лише параметрами обмоток.

У подальшому спостерігається інтенсивне зменшення амплітуди струму, що свідчить про розгін електродвигуна та наближення до усталеного режиму роботи. Коливання струму мають затухаючий характер і з часом стабілізуються.

У другій половині інтервалу часу спостерігається зміна режиму роботи, що супроводжується незначним зростанням амплітуди струму та подальшою стабілізацією.

Отримані результати показують наявність значних пускових струмів, що може призводити до підвищених електричних і теплових навантажень на обмотки двигуна. Це підтверджує доцільність застосування способів обмеження пускових струмів для підвищення надійності роботи електропривода.

Отримані результати підтверджують, що без застосування засобів обмеження струму електропривід зазнає значних перевантажень у пускових режимах. Це обґрунтовує доцільність використання частотного керування як ефективного засобу зниження пускових струмів та підвищення надійності роботи насосного обладнання.

Для оцінки режиму роботи електродвигуна насосної установки також проаналізовано зміну напруги живлення обмоток статора у часі. На рисунку 3.х наведено часову залежність напруги U_a , яка формується в процесі роботи електропривода. Отримана крива дозволяє оцінити характер зміни напруги в перехідному та усталеному режимах роботи.

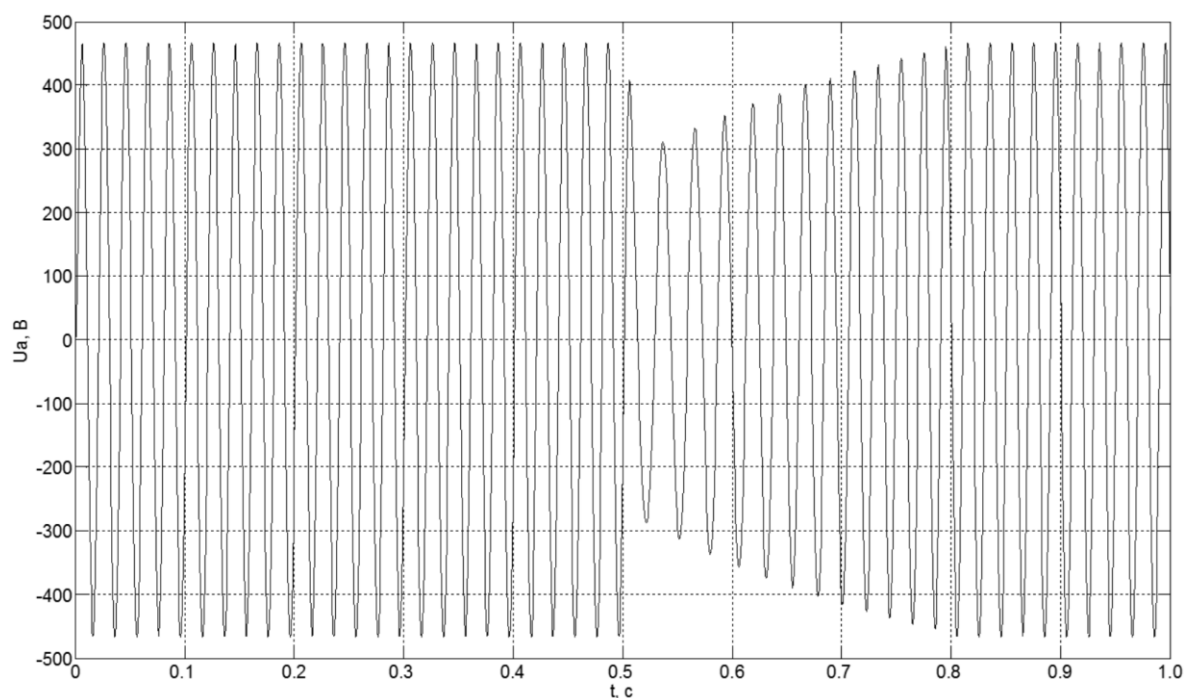


Рис. 3.6 Зміна напруги від навантаження

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку проілюстровано зміну напруги живлення електродвигуна у часі. Видно, що напруга має змінний періодичний характер, який відповідає режиму живлення асинхронного двигуна.

У початковий момент часу спостерігається підвищена амплітуда коливань напруги, що пов'язано з перехідними процесами при пуску електропривода. У цей період електромагнітні процеси в обмотках двигуна ще не встановилися, що призводить до нерівномірності параметрів сигналу.

Надалі, як демонструється на рисунку, форма напруги поступово стабілізується, а її амплітуда набуває більш сталого значення. Це свідчить про завершення перехідного процесу та перехід системи до усталеного режиму роботи.

У ділянці часу близько 0,5 с спостерігається зміна характеру напруги, що відображає зміну режиму роботи електропривода. Після цього напруга знову стабілізується, що підтверджує здатність системи працювати в різних режимах без втрати стійкості.

Отримані результати показують, що напруга живлення електродвигуна формується коректно, однак у перехідних режимах можливі підвищені коливання її амплітуди. Це необхідно враховувати при практичній реалізації електропривода, оскільки такі коливання можуть впливати на тепловий стан обмоток та загальну надійність роботи двигуна.

Таким чином, аналіз отриманих графічних залежностей показав, що в процесі пуску електропривода насосної установки найбільш суттєві зміни відбуваються у швидкості обертання, електромагнітному моменті, струмі статора та напрузі живлення електродвигуна. На наведених осцилограмах проілюстровано наявність перехідних процесів у початковий момент часу, які супроводжуються коливаннями моменту, значними пусковими струмами та зміною параметрів напруги. Разом з тим усі розглянуті величини мають затухаючий характер зміни та з часом стабілізуються, що свідчить про

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стійкість електропривода та його здатність переходити в усталений режим роботи.

Висновки до розділу 3.

Наведені результати підтверджують, що запропоноване рішення щодо керування електроприводом насосної установки є працездатним і забезпечує допустимий характер перехідних процесів. При цьому встановлено, що найбільш критичним фактором для надійності є високі пускові струми, які можуть викликати додаткові теплові та електродинамічні навантаження на електродвигун. Саме тому використання засобів обмеження пускових режимів, зокрема частотного керування, є доцільним і технічно обґрунтованим. У цілому результати моделювання свідчать про ефективність запропонованого підходу та можливість його використання для підвищення надійності і плавності пуску електроприводів фекальних насосів каналізаційних станцій.

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці — це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. Дія Закону України «Про охорону праці» поширюється на всіх роботодавців і працівників, а організація безпечних умов праці є обов'язком роботодавця.

Оскільки дипломна робота присвячена удосконаленню надійності та плавності пуску електроприводів фекальних насосів каналізаційних станцій, для розгляду питань охорони праці доцільно обрати робоче місце електромеханіка каналізаційної насосної станції, який здійснює технічний нагляд, обслуговування електроприводів насосних агрегатів, контроль їх режимів роботи, а також участь у пуску, зупинці й перевірці справності обладнання. Таке робоче місце розташоване в приміщенні насосного відділення та пов'язане з дією електротехнічних, санітарно-гігієнічних і виробничих факторів, що потребують належної організації охорони праці.

На каналізаційних насосних станціях особливої уваги потребують питання електробезпеки, мікроклімату, стану повітря робочої зони, освітлення, пожежної безпеки та організації безпечного виконання робіт під час експлуатації електроприводів. Це обумовлено наявністю електрообладнання, підвищеної вологості, можливих газових виділень, обмежених виробничих приміщень та необхідністю забезпечення безперервної роботи насосного обладнання. Тому аналіз умов праці та розроблення відповідних заходів є важливою складовою даного дипломного проєкту.

4.1 Організація та управління охороною праці на підприємстві

Працівник, що виконує свої обов'язки на обраному робочому місці електромеханіка каналізаційної насосної станції, здійснює діяльність у складі

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підприємства водовідведення або експлуатаційної служби насосної станції. Тому доцільно розглянути організацію та управління охороною праці як на підприємстві в цілому, так і безпосередньо на ділянці, де експлуатуються електроприводи насосних агрегатів.

Управління охороною праці на підприємстві здійснюється в межах системи управління охороною праці. Основою її функціонування є вимоги Закону України «Про охорону праці», згідно з яким роботодавець зобов'язаний створити на робочих місцях умови праці відповідно до нормативно-правових актів, забезпечити дотримання прав працівників у галузі охорони праці та організувати профілактичні заходи щодо запобігання виробничому травматизму і професійним захворюванням.

Важливим елементом системи управління є служба охорони праці. Її діяльність регламентується Типовим положенням про службу охорони праці, затвердженим наказом Держнаглядохоронпраці України від 15.11.2004 № 255 (НПАОП 0.00-4.35-04). Служба охорони праці організовує контроль за станом безпеки праці, бере участь у розробленні заходів щодо поліпшення умов праці, перевіряє забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, контролює виконання інструкцій та вимог нормативних документів.

Для працівників каналізаційної насосної станції особливе значення має навчання та перевірка знань з питань охорони праці. Таке навчання проводиться відповідно до Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 № 15 (НПАОП 0.00-4.12-05). Працівники проходять вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці, повторний, позаплановий і цільовий інструктажі, а також періодичну перевірку знань. Це особливо важливо для персоналу, який працює з електроустановками, приводами насосних агрегатів та виконує роботи підвищеної небезпеки.

На підприємстві також повинні організовуватися попередні та періодичні медичні огляди працівників певних категорій. Порядок їх

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проведення затверджений наказом МОЗ України від 21.05.2007 № 246. Медичні огляди дають змогу визначити придатність працівника до виконання робіт у конкретних виробничих умовах, своєчасно виявити ознаки професійно зумовлених порушень здоров'я та запобігти допуску до роботи осіб, для яких вона може бути небезпечною.

Окрему роль відіграє професійний добір працівників, які виконують роботи, пов'язані з обслуговуванням електрообладнання, насосних станцій та засобів автоматизації. Для такого персоналу важливими є належна кваліфікація, знання електробезпеки, вміння діяти в аварійних ситуаціях, а також здатність працювати в умовах підвищеної відповідальності.

Працівники насосної станції повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту відповідно до характеру виконуваних робіт. До них можуть належати спецодяг, спецвзуття, діелектричні рукавиці, захисні каски, захисні окуляри, респіратори та інші засоби, необхідні для безпечної експлуатації електроприводів і насосного обладнання. Забезпечення працівників засобами захисту є обов'язком роботодавця і входить до системи організаційних заходів з охорони праці.

У разі виникнення нещасних випадків або аварійних ситуацій на підприємстві проводиться їх розслідування та облік у встановленому порядку. Це дає змогу встановити причини події, виявити порушення вимог охорони праці та розробити профілактичні заходи для недопущення аналогічних випадків у майбутньому.

Таким чином, організація та управління охороною праці на підприємстві, де експлуатуються насосні агрегати каналізаційних станцій, ґрунтуються на чинних нормативно-правових актах, функціонуванні служби охорони праці, систематичному навчанні працівників, проведенні медичних оглядів, професійному доборі персоналу, забезпеченні засобами захисту та контролі за безпечним виконанням робіт. Це створює організаційну основу для забезпечення безпечної експлуатації електроприводів насосних установок.

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Аналіз умов праці на робочому місці

Робоче місце електромеханіка каналізаційної насосної станції розташоване у виробничому приміщенні, де експлуатуються електроприводи насосних агрегатів, силове електрообладнання, трубопроводи, запірна арматура та допоміжні технічні засоби. Відповідно, умови праці на такому робочому місці визначаються сукупною дією організаційних, санітарно-гігієнічних, електротехнічних і пожежонебезпечних чинників. Загальні вимоги щодо створення безпечних і здорових умов праці встановлює Закон України «Про охорону праці».

Важливим показником безпечної роботи є освітлення виробничого приміщення. Для обслуговування електроприводів, насосних агрегатів, приладів контролю та комутаційної апаратури необхідно забезпечити достатню видимість робочої зони, органів керування, написів на щитах і сигнальних елементів. Недостатнє освітлення призводить до підвищеної втоми працівника, зниження точності його дій та збільшення імовірності помилок під час обслуговування обладнання. Вимоги до природного і штучного освітлення виробничих приміщень регламентуються ДБН В.2.5-28:2018.

Мінімальний розмір об'єкта розрізнення для фрілансера – більше 1 мм. Згідно з СНиП 23-05-95 (Природне та штучне освітлення), ця робота має V розряд (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Характеристика розрядів зорової роботи

Розряд зорової роботи	Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм
V	Малої точності	> 1 до 5

Тому необхідним значенням штучного освітлення є 750*/300** лк.

Де, * Горизонтальна освітленість на рівні 0,8 м від підлоги при спільній дії загального і місцевого освітлення.

** теж саме, але тільки від загального освітлення.

Не менш важливим чинником є шум, який виникає під час роботи насосних агрегатів, електродвигунів, вентиляційного обладнання та допоміжних механізмів. Тривалий вплив шуму погіршує концентрацію уваги, ускладнює сприйняття звукових сигналів та негативно впливає на загальний стан працівника. Для робочого місця електромеханіка шумовий фактор є характерним, оскільки насосна станція належить до об'єктів з постійно діючим механічним обладнанням. У зв'язку з цим при аналізі умов праці слід враховувати необхідність зниження шумового навантаження за рахунок раціонального розміщення обладнання, використання засобів звукоізоляції та застосування засобів індивідуального захисту органів слуху.

Таблиця 4.2 – Припустимі рівні шуму на робочому місці

Рівні звукового тиску, дБ, в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звуку, дБ
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	50
86	71	61	54	49	45	42	40	38	

Мікрокліматичні умови на робочому місці визначаються температурою повітря, відносною вологістю та швидкістю його руху. Для приміщень насосних станцій характерними є підвищена вологість, локальні перепади температури та можливий рух повітря, зумовлений роботою вентиляції та технологічного обладнання. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень встановлюють, що саме поєднання цих параметрів формує умови внутрішнього середовища, які впливають на тепловий обмін працівника з оточенням. Для даного робочого місця дотримання нормативних параметрів мікроклімату є необхідною умовою запобігання перегріванню або переохолодженню працівника та підтримання належної працездатності.

Параметри повітря робочої зони

Сезон року	Категорія робіт	Допустимі норми на постійних робочих місцях		
		Температура °С	Відносна вологість	Швидкість руху повітря, м/с, не більше
Холодний період Року	Легка - I	19-25	75	0,1
	Середньої тяжкості - IIа	17-23	75	0,2
	Середньої тяжкості - IIб	15-21	75	0,2
	Тяжка-III	13-19	75	0,3
Теплий період року	Легка - I	19-25	75	0,1
	Середньої тяжкості - IIа	17-23	75	0,1
	Середньої тяжкості - IIб	15-21	75	0,2
	Тяжка-III	13-19	75	0,3

Особливої уваги на каналізаційній насосній станції потребує електробезпека, оскільки експлуатація пов'язана з роботою електроустановок, пускозахисної апаратури, силових кабелів та електроприводів насосів. Небезпека ураження електричним струмом зростає через наявність вологи, металевих конструкцій, струмопровідних підлог та обмежених виробничих зон. Тому на робочому місці мають бути передбачені захисне заземлення, належний стан ізоляції, застосування захисних апаратів, попереджувальних знаків, а також використання діелектричних засобів захисту під час виконання ремонтних і оглядових робіт. Вимоги до безпечної експлуатації таких

електроустановок регламентуються Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Пожежна безпека на насосній станції також має важливе значення, оскільки в одному приміщенні поєднуються електрообладнання, кабельні лінії, мастильні матеріали, ізоляційні матеріали та обладнання, яке працює в тривалому режимі. Основними причинами виникнення пожежонебезпечних ситуацій можуть бути короткі замикання, перевантаження електродвигунів, перегрів контактних з'єднань та пошкодження ізоляції. З урахуванням цього на робочому місці повинні бути передбачені первинні засоби пожежогасіння, вільні шляхи евакуації, справна вентиляція та дотримання вимог до експлуатації електротехнічного обладнання.

Отже, умови праці на робочому місці електромеханіка каналізаційної насосної станції характеризуються комплексною дією освітлювальних, шумових, мікрокліматичних, електротехнічних і пожежонебезпечних факторів. Їх урахування є необхідним для забезпечення безпечної експлуатації електроприводів насосних агрегатів, зниження виробничих ризиків та підтримання належного рівня надійності роботи обладнання.

4.3 Заходи з охорони праці

Оскільки основний зміст дипломної роботи пов'язаний з удосконаленням надійності та плавності пуску електроприводів фекальних насосів каналізаційних станцій, запропоновані заходи з охорони праці доцільно спрямувати на зниження впливу електричних, механічних і пожежонебезпечних факторів, що виникають під час експлуатації насосного обладнання.

Одним із головних заходів є застосування частотного керування або пристроїв плавного пуску електродвигунів насосних агрегатів. Таке рішення дозволяє зменшити пускові струми, обмежити динамічні навантаження на вал, муфту та робочі органи насоса, а також знизити теплове навантаження на

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обмотки електродвигуна. У результаті підвищується надійність роботи електропривода та зменшується ймовірність аварійних режимів.

З метою підвищення електробезпеки необхідно забезпечити справний стан ізоляції електрообладнання, наявність захисного заземлення, використання автоматичних вимикачів і пристроїв захисного відключення, а також регулярний контроль технічного стану силових кабелів, пускозахисної апаратури та електродвигунів. Під час виконання ремонтних і профілактичних робіт працівники повинні користуватися діелектричними рукавицями, інструментом з ізольованими ручками та іншими засобами індивідуального захисту.

Для зменшення впливу шуму і вібрації доцільно застосовувати технічно справні насосні агрегати, проводити своєчасне балансування обертових частин, контролювати стан підшипників і муфтових з'єднань, а також використовувати вібропоглинальні елементи конструкції. За потреби працівники повинні бути забезпечені засобами захисту органів слуху.

З метою підтримання нормативних параметрів мікроклімату та стану повітря робочої зони необхідно забезпечити ефективну роботу припливно-витяжної вентиляції, своєчасне очищення приміщення від пилу і забруднень, а також контроль можливих шкідливих газових виділень у приміщеннях каналізаційної насосної станції.

Для підвищення пожежної безпеки необхідно регулярно перевіряти стан електричних з'єднань, не допускати перевантаження електродвигунів, контролювати температуру обладнання, утримувати в справному стані первинні засоби пожежогасіння та забезпечувати вільний доступ до евакуаційних виходів.

Таким чином, запропоновані заходи з охорони праці спрямовані на підвищення безпеки експлуатації електроприводів фекальних насосів, зниження ризику ураження електричним струмом, обмеження механічних і теплових перевантажень, а також на створення безпечних умов праці для персоналу каналізаційної насосної станції.

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 4.

У розділі розглянуто організацію та управління охороною праці на підприємстві, зокрема структуру системи управління охороною праці, функції служби охорони праці, порядок навчання та інструктажів працівників, проведення медичних оглядів, забезпечення засобами індивідуального захисту та вимоги нормативно-правових актів.

Проаналізовано умови праці на робочому місці електромеханіка каналізаційної насосної станції, включаючи освітлення, шум, мікроклімат, стан повітря робочої зони, електробезпеку та пожежну безпеку. Встановлено, що основними небезпечними та шкідливими факторами є підвищена вологість, наявність електроустановок, пускові струми електродвигунів, шум від роботи насосних агрегатів та можливі пожежонебезпечні ситуації.

Запропоновано комплекс заходів з охорони праці, спрямованих на підвищення безпеки експлуатації електроприводів насосних агрегатів, зниження пускових струмів і механічних навантажень, покращення умов праці, а також підвищення надійності та безпечності роботи обладнання каналізаційної насосної станції.

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У даному розділі виконується економічне обґрунтування доцільності впровадження запропонованого технічного рішення, спрямованого на підвищення надійності та плавності пуску електроприводів фекальних насосів каналізаційних станцій. Необхідність такого обґрунтування визначається тим, що будь-яке удосконалення технічної системи повинно бути не лише працездатним з інженерної точки зору, але й економічно доцільним в умовах реальної експлуатації.

Запропоноване рішення передбачає зниження пускових струмів, обмеження динамічних навантажень на електродвигун і механічну частину насосного агрегату, а також покращення режимів роботи обладнання. У результаті цього очікується зменшення витрат на технічне обслуговування та ремонт, зниження імовірності аварійних відмов, підвищення ресурсу електропривода та загальної надійності насосної установки.

Економічна оцінка запропонованого рішення ґрунтується на визначенні капітальних витрат на його впровадження, розрахунку експлуатаційних витрат, а також встановленні річного економічного ефекту. Крім безпосереднього економічного результату, доцільно враховувати і супутні позитивні наслідки реалізації рішення, зокрема зменшення простоїв обладнання, скорочення обсягів ремонтних робіт та підвищення стабільності функціонування каналізаційної насосної станції.

Таким чином, метою даного розділу є визначення економічної ефективності впровадження запропонованого технічного рішення та підтвердження його практичної доцільності для використання в електроприводах фекальних насосів каналізаційних станцій.

5.1 Розрахунок капітальних витрати.

Для реалізації запропонованого технічного рішення необхідно визначити капітальні витрати, пов'язані з придбанням, монтажем і введенням

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в експлуатацію нового обладнання. У даному випадку капітальні витрати включають вартість пристрою плавного пуску або частотного перетворювача, витрати на монтаж, налагодження та підключення до існуючої системи електропривода насосної установки.

Загальна величина капітальних витрат визначається за формулою:

$$K = C_{об} + C_{м} + C_{н} \quad (5.1)$$

де

K — загальні капітальні витрати, грн;

$C_{об}$ — вартість обладнання, грн;

$C_{м}$ — витрати на монтаж, грн;

$C_{н}$ — витрати на налагодження та введення в експлуатацію, грн.

У даній роботі як основний технічний засіб приймається пристрій плавного пуску, вартість якого становить:

$$C_{об} = 45000 \text{ грн}$$

Витрати на налагодження та введення в експлуатацію приймаються у розмірі 8 % від вартості обладнання:

$$C_{н} = 0.08 \cdot C_{об} = 0.08 \cdot 45000 = 3600 \text{ грн}$$

Тоді загальні капітальні витрати на впровадження становитимуть:

$$K = 45000 + 4500 + 3600 = 53100 \text{ грн}$$

Отже, загальна величина капітальних витрат, необхідних для впровадження запропонованого рішення, становить 53100 грн. Отримане значення надалі використовується для розрахунку економічної ефективності та строку окупності.

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати характеризують поточні витрати, пов'язані з роботою насосної установки в процесі її використання. Для електроприводів фекальних насосів каналізаційних станцій основними складовими експлуатаційних витрат є витрати на електроенергію, технічне

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обслуговування та ремонт обладнання. При впровадженні пристрою плавного пуску очікується зниження цих витрат за рахунок покращення режимів роботи електродвигуна, зменшення пускових перевантажень і підвищення надійності електропривода.

Загальні річні експлуатаційні витрати визначаються за формулою:

$$C_{\text{експ}} = C_{\text{ел}} + C_{\text{обсл}} + C_{\text{рем}} \quad (5.2)$$

де

$C_{\text{експ}}$ — річні експлуатаційні витрати, грн;

$C_{\text{ел}}$ — витрати на електроенергію, грн;

$C_{\text{обсл}}$ — витрати на технічне обслуговування, грн;

$C_{\text{рем}}$ — витрати на ремонт, грн.

Витрати на електроенергію визначаються за формулою:

$$C_{\text{ел}} = P \cdot T \cdot c \quad (5.3)$$

де

P — середня споживана потужність електропривода, кВт;

T — річний фонд роботи обладнання, год;

c — вартість 1 кВт·год електроенергії, грн/кВт·год.

Для розрахунку приймемо: $P=30$ кВт, $T=4000$ год, $c=6.0$ грн/кВт·год,

Тоді річні витрати на електроенергію становитимуть:

$$C_{\text{ел}} = 30 \cdot 4000 \cdot 6.0 = 720000 \text{ грн}$$

Витрати на технічне обслуговування приймемо на рівні 4 % від капітальних витрат:

$$C_{\text{обсл}} = 0.04 \cdot K = 0.04 \cdot 53100 = 2124 \text{ грн}$$

Витрати на ремонт приймемо на рівні 6 % від капітальних витрат:

$$C_{\text{рем}} = 0.06 \cdot K = 0.06 \cdot 53100 = 3186 \text{ грн}$$

Тоді загальні річні експлуатаційні витрати після впровадження запропонованого рішення становитимуть:

$$C_{\text{експ}} = 720000 + 2124 + 3186 = 725310 \text{ грн}$$

Для порівняння до впровадження удосконаленого рішення доцільно врахувати, що експлуатаційні витрати були вищими через більші пускові струми, частіші ремонти та підвищені навантаження на обладнання. Прийmemo, що річні експлуатаційні витрати до впровадження становили:

$$C_{\text{експ}}^{\text{баз}} = 742000 \text{ грн}$$

Таким чином, впровадження пристрою плавного пуску дозволяє знизити річні експлуатаційні витрати насосної установки за рахунок покращення режимів роботи електропривода, зменшення навантаження на обладнання та скорочення витрат на його технічне обслуговування і ремонт.

5.3 Річна економічна ефективність впровадження запропонованого рішення визначається на основі порівняння експлуатаційних витрат до і після його реалізації. Економічний ефект у даному випадку формується за рахунок зниження витрат на технічне обслуговування, ремонт і експлуатацію насосної установки, що досягається внаслідок покращення режимів пуску електропривода та зменшення навантаження на обладнання.

Річна економія визначається як різниця між базовими та новими експлуатаційними витратами:

$$E_p = C_{\text{експ}}^{\text{баз}} - C_{\text{експ}} \quad (5.4)$$

де

E_p — річна економія, грн;

$C_{\text{експ}}^{\text{баз}}$ — річні експлуатаційні витрати до впровадження рішення, грн;

$C_{\text{експ}}$ — річні експлуатаційні витрати після впровадження рішення, грн.

Підставляючи отримані значення, маємо:

$$E_p = 742000 - 725310 = 16690 \text{ грн}$$

Отже, річна економія від впровадження пристрою плавного пуску становить 16690 грн.

Для оцінки економічної доцільності також визначимо строк окупності капітальних витрат:

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E_p} \quad (5.5)$$

де

$T_{\text{ок}}$ — строк окупності, років;

K — капітальні витрати на впровадження, грн;

E_p — річна економія, грн.

Підставляючи значення, отримаємо:

$$T_{\text{ок}} = \frac{53100}{16690} = 3.18 \text{ роки}$$

Крім строку окупності, економічна ефективність запропонованого рішення проявляється в тому, що зниження пускових струмів і динамічних перевантажень дозволяє зменшити частоту аварійних відмов та підвищити ресурс електропривода насосної установки. Це, у свою чергу, забезпечує стабільнішу експлуатацію обладнання і зменшує непрямі втрати, пов'язані з простоем та позаплановим ремонтом.

Таким чином, виконаний розрахунок показує, що впровадження пристрою плавного пуску є економічно доцільним. Отриманий строк окупності 3.18 роки свідчить про реальну можливість повернення вкладених коштів у межах нормативного періоду експлуатації обладнання, а подальше використання запропонованого рішення забезпечуватиме щорічний економічний ефект.

5.5 Супутні вигоди від реалізації запропонованого рішення

Окрім безпосереднього річного економічного ефекту, впровадження запропонованого технічного рішення забезпечує низку супутніх позитивних результатів, які мають важливе практичне значення для експлуатації насосної установки. Такі результати не завжди можуть бути точно виражені у грошовій формі, однак істотно впливають на загальну ефективність роботи обладнання.

Насамперед до супутніх вигод належить підвищення надійності електропривода насосної установки. Завдяки зменшенню пускових струмів та обмеженню динамічних навантажень знижується рівень електричних і

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механічних перевантажень, що позитивно впливає на ресурс обмоток електродвигуна, муфтових з'єднань, валів і підшипникових вузлів.

Другим важливим позитивним наслідком є зменшення частоти позапланових ремонтів та скорочення простоїв обладнання. Для насосних установок каналізаційних станцій це має особливе значення, оскільки зупинка одного насосного агрегату може призвести до підвищення навантаження на резервне обладнання, порушення режиму перекачування стічних вод та ускладнення експлуатації всієї системи.

Ще однією вигодою є покращення експлуатаційних умов роботи насосної установки. Плавний пуск дозволяє зменшити ударні навантаження на механічну частину привода, а також обмежити можливість виникнення гідравлічних ударів у трубопроводній системі. Це сприяє підвищенню довговічності не лише електропривода, а й гідромеханічної частини насосної станції.

Крім того, впровадження запропонованого рішення створює передумови для підвищення загальної стабільності та прогнозованості роботи насосної установки. Покращення режимів пуску зменшує ймовірність аварійних ситуацій, пов'язаних із перевантаженням обладнання, а також полегшує технічне обслуговування та контроль за станом електропривода.

Отже, супутні вигоди від реалізації запропонованого рішення полягають у підвищенні надійності, зниженні аварійності, зменшенні експлуатаційних ризиків, покращенні умов роботи обладнання та підвищенні загальної ефективності функціонування насосної установки. Це додатково підтверджує доцільність впровадження розробленого технічного рішення не лише з технічної, а й з економічної точки зору.

Висновки до розділу 5.

У розділі розглянуто питання економічного обґрунтування доцільності впровадження запропонованого технічного рішення, спрямованого на

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищення надійності та плавності пуску електроприводів фекальних насосів каналізаційних станцій.

Визначено капітальні витрати на впровадження обладнання, які включають вартість пристрою плавного пуску, витрати на монтаж і налагодження.

Розраховано експлуатаційні витрати до і після впровадження рішення, що дозволило оцінити вплив удосконалення режимів роботи електропривода на витрати електроенергії, технічного обслуговування та ремонту.

Визначено річний економічний ефект та строк окупності, які підтверджують економічну доцільність впровадження запропонованого рішення.

Встановлено, що додатковими перевагами є підвищення надійності роботи електропривода, зниження частоти аварійних відмов, зменшення навантаження на обладнання та покращення умов його експлуатації.

Таким чином, запропоноване технічне рішення є економічно обґрунтованим і доцільним для впровадження на каналізаційних насосних станціях.

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У дипломній роботі вирішено актуальну задачу підвищення надійності та плавності пуску електроприводів фекальних насосів каналізаційних станцій.

У процесі виконання роботи проведено аналіз особливостей роботи насосних установок та електроприводів, визначено основні проблеми, пов'язані з пусковими режимами асинхронних електродвигунів, зокрема високі пускові струми, значні динамічні навантаження та їх негативний вплив на надійність обладнання.

У розрахунковій частині виконано визначення параметрів електропривода, проведено аналіз механічних характеристик асинхронного електродвигуна, а також досліджено перехідні процеси при пуску. Отримані результати показали наявність значних перевантажень у пускових режимах, що підтверджує необхідність їх удосконалення.

У роботі запропоновано технічне рішення, спрямоване на покращення умов пуску електродвигуна, що дозволяє зменшити пускові струми, обмежити механічні та електромагнітні навантаження, а також підвищити надійність роботи насосного агрегату.

У розділі охорони праці розглянуто організацію безпечних умов праці, проаналізовано виробничі фактори на робочому місці та запропоновано заходи, спрямовані на підвищення безпеки експлуатації електроприводів.

У економічному розділі обґрунтовано доцільність впровадження запропонованого рішення, визначено капітальні витрати, розраховано експлуатаційні витрати, річний економічний ефект та строк окупності, що підтверджує ефективність запропонованого удосконалення.

Таким чином, поставлена мета дипломної роботи досягнута, а запропоноване рішення є технічно обґрунтованим, економічно доцільним і може бути рекомендоване до впровадження на каналізаційних насосних станціях.

					КРБ. АТЕіРС.141.641-03.6.4	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Електромеханичні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч.посібник. М.Г.Попов іч, О.Ю.Лозинський, В.Б.Клепиков та ін.; За ред. М.Г.Поповіча, О.Ю.Лозинського. Київ: Либідь, 2005 р. 680 с.
2. Видмиш А.А. Теорія електропривода. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів: навчальний посібник. А. А. Видмиш, С. М. Бабій, В. В. Петрусь. Вінниця: ВНТУ, 2012 р. 96 с.
3. Жулай Є.Л., Зайцев Б.В., Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Войтюк Д.Г. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній (за ред. Жулая Є.Л.). Київ: Вища освіта, 2001 р. 288 с.
4. Видмиш А.А., Трошин О.А. Теорія електропривода. Лабораторний практикум/ Навчальний посібник. Вінниця: ВДТУ, 2003 р. 135 с.
5. Матвійчук В.А., Стаднік М.І., Рубаненко О.О. Електропривод виробничих машин і механізмів. Навчальний посібник з виконання курсової роботи. Вінниця: ВНАУ, 2016 р. 320 с.
6. Колб А. А. Теорія електроприводу. Навчальний посібник. Донецьк: Національний гірничий університет, 2006 р. 511 с.
7. Браславський І.Я., Ішматов З.Ш. Реалізація енергоощадних технорлогій на основі регульованих асинхронних електроприводів. Київ: Електроінформ. 2003 р. 15 с.
8. Ю. М. Лаврієнко Електропривод. Підручник. Київ: Ліра-К 2009 р. 504 с.
9. Жулай Є.Л., Зайцев Б.В., Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Войтюк Д.Г. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній(за ред. Жулая Є.Л.). Київ: Вища освіта, 2001 р. 288 с.
10. Ярошенко Л.В. Лабораторний практикум з електропривода та електрообладнання: Навчальний посібник. Вінниця: РВВ ВНАУ, 2010 р. 192с.
11. Лехман С. Д., Рубльов В. І., Рябцев Б. І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ: Урожай, 1993 р. 267 с.
12. Основи охорони праці. Купник М.П. і ін. Київ: Основа, 2000 р. 41с.

					КРБ. АТЕРС.141.641-03.3.3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		