

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра електромеханіки та мехатроніки



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему «Дослідження та модернізація електроприводу насосу для системи водопостачання підприємства дріжджового виробництва»

Здобувач СВО «Бакалавр»: Бондар Максим Олегович

Студент групи АЕМ-40

Керівник : Розіна Олена Юріївна,
к.ф.-м.н., доцент

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 17.06. 2024 р., протокол №12

Завідувач(ка) кафедри Осадчук П.І. _____

Одеса - 2024 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Автоматизації та робототехніки

Кафедра: Електромеханіки та мехатроніки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма: Електромеханічні системи з інтелектуальним керуванням

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри ЕтаМ

_____ Петро ОСАДЧУК

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувача СВО «Бакалавр» Бондар Максим Олегович гр. АЕМ-40

1. Тема роботи: «Дослідження та модернізація електроприводу насосу для системи водопостачання підприємства дріжджового виробництва»

Керівник роботи: Розіна Олена Юріївна к.ф.-м.н., доцент

Затверджено наказом ОНТУ від 19-12-23 р. наказ № 797-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 14.06.24

3. Вихідні дані роботи: водопостачання дріжджового виробництва, тривалість циклу споживання 24-32 години; напір 30 м, середній розхід 50 м³/доб, піковий розхід 25 м³/годину;

4. Перелік питань, які потрібно розробити: Мета роботи; завдання роботи; дослідження технічних характеристик обладнання для водопостачання; розрахунок навантажень і вибір потужності двигуна; вибір перетворювача частоти; моделювання електроприводу; монтаж та техніка безпеки; економічна частина;

5. Перелік демонстраційного матеріалу. Слайди презентації: Титульний слайд; мета і завдання роботи; кінематична схема електроприводу насосу для водопостачання; технічна характеристика складових електроприводу; структурна і принципова схеми до і після модернізації; вибір перетворювача частоти і регулятора напруги; модель дослідження прямого пуску двигуна; модель дослідження частотного пуску двигуна, результати досліджень.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4 Охорона праці	Доц. Розіна О.Ю.		
5. Економічна частина	Доц. Розіна О.Ю.		

7. Дата видачі завдання: 06.02.2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів	Прим
1	Загальна характеристика електромеханічного обладнання дріжджового виробництва	15.03.2024	
2	Розрахунок навантажень і вибір двигуна для насоса системи водопостачання. Вибір ПЧ, розробка схеми електроприводу системи ПЧ-АД.	05.04.2024	
3	Моделювання електроприводу насосу для водопостачання підприємства засобами MATLAB/Simulink , та дослідження параметрів роботи електроприводу у різних режимах	05.05.24	
4	Організаційно-технологічна частина. Організація монтажу та електробезпечної експлуатації електроприводу.	10.05.2024	
5	Економічна частина.	25.05.2024	
6	Попередній захист кваліфікаційної роботи.	17.06.2024	
7	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра.	26.06.2024	

Здобувач: Бондар М.О. _____

Керівник проекту доцент Розіна О.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 СВО Бондар М.О. _____

АНОТАЦІЯ

Бондар М.О. «Дослідження та модернізація електроприводу насосу для системи водопостачання підприємства дріжджового виробництва». Кваліфікаційна робота бакалавра. – Одеса: ОНТУ, 2024. – 61 с. Бібліогр.: 16 л.:22. Табл. 8.

У кваліфікаційній роботі бакалавра розроблений керований електропривод системи водопостачання підприємства дріжджового виробництва; розраховано потужність та проведений вибір двигуна для електроприводу насосу; приведені механічні характеристики двигуна при різних частотах.

Надається обґрунтування вибору насосів, електродвигунів перетворювача частоти для керованого управління двигуном вентиляторної системи водопостачання, розроблена схема керованого електроприводу.

Досліджена система управління електроприводом на електронній моделі в середовищі Matlab Simulink при різних режимах його роботи.

В організаційно-технічній частині, описана послідовність монтажних робіт, надаються вимоги техніки безпеки при організації монтажних робіт електроприводу та при його експлуатації.

Показані економічні розрахунки ефективності представленого проекту.

Ключові слова: система водопостачання; електропривод, перетворювач частоти, електронна модель, економіка, техніка безпеки.

ABSTRACT

Achkasov A.V. «Research and Modernization of the electric drive for the pump of the water supply system for yeast production». Bachelor's qualifying work. – Odesa: ONUT, 2024. Pp.– 61 c. Bibliogr.: 16. Ill.:22. Tab. 8.

This Bachelor's qualifying work presents the controlled electric drive for the water supply system of the yeast production. The parameters of the water supply system and the power of the engine are calculated. Mechanical characteristics of the engine are given for different frequencies. An adequate frequency converter has been selected for the electric drive.

The electric drive was simulated using Matlab Simulink in various operating modes.

The organizational and technological component of the project includes the sequence of installation work, the safety requirements for installation and operation of the electric drive are described.

Key words: water supply system, electric drive, asynchronous machine, frequency converter, simulation with Matlab/Simulink, modeling of electric drive.

Зміст

	Вступ	8
1	Характеристика технологічного обладнання та режимів його роботи	8
1.1	Головні етапи технологічного процесу та комплекси технологічного обладнання	8
1.2	Машинно-апаратна схема процесів вирощування дріжджової маси і режим споживання води	11
1.3	Санітарно-гігієнічний режим дріжджового виробництва	13
1.4	Об'єкт дослідження і мета проекту	15
2	Розрахунково-конструкторська частина	16
2.1	Графік добового навантаження. Вибір насосу	16
2.2	Вибір двигуна та розрахунок його параметрів	19
2.3	Вибір системи регулювання електроприводу та перетворювача частоти	24
3	Імітаційне моделювання електроприводу в середовищі Matlab/Simulink	37
3.1	Параметри піктограми для моделювання електроприводу	37
3.2	Моделювання прямого пуску	40
3.3.	Моделювання електроприводу з перетворювачем частоти	41
4	Охорона праці та техніка електробезпеки при монтажних роботах та експлуатації електрообладнання насосної установки	44

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11							
<i>Изм.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Дослідження та модернізація електроприводу насосу для системи водопостачання підприємства дріжджового виробництва							
Розробив.	Бондар М.									<i>Арк</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
Перевірів.	Розіна О.Ю.									6	80	
Реценз.										ОНТУ, гр. АЕМ-40		
Н. Контр.												
Затверд.	Осадчук П.І											

4.1.	Організація монтажних робіт	44
4.2	Електробезпека обладнання та персоналу в умовах підвищеної вологості	47
4.3	Організація робочого місця оператора	49
4.4	Вимоги безпеки при експлуатації й ремонті головного насосу насосної станції	50
5	Економічна частина	51
5.1	Порівняльний розрахунок витрат для монтажу базового і нового варіантів електроприводу	51
5.2	Розрахунок економічної доцільності та терміну окупності спроектованого варіанту електроприводу	52
5.3	Визначення економічної ефективності проекту	57
	Висновки.	59
	Перелік використаних джерел	60

					<i>КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Вступ

Виробництво дріжджів є найпоширенішим біотехнологічним процесом у галузі харчових технологій. Адже хліб, виробництво якого потребує хлібопекарських дріжджів, займає першу позицію у переліку харчових продуктів споживчого кошику населення України. В останні роки зацікавленість до виробництва дріжджів зростає. Причина полягає у такому. З усіх продуктів природного походження дріжджова біомаса має найвищий вміст білка (більше 40 % маси сухої речовини); у той же час у порівнянні з традиційними природними джерелами білкової складової харчових продуктів (м'ясо, бобові, зернові) дріжджова біомаса має найвищу швидкість приросту за одиницю часу. Тому у даний час з'являються і швидко розповсюджуються технології виробництва білкових харчових добавок для кормів худоби, підвищення яйценосності курей. Дріжджова біомаса є сировиною для фармацевтичної галузі при виробництві вітамінів групи В, лікарських препаратів спеціального призначення.

На сьогодні в Україні є три крупні заводи, що виробляють пресовані дріжджі: Львівський дріжджовий завод (Enzym Group, Компанія Ензим), Харківський дріжджовий завод (БАЛЕКС) та Криворізький дріжджовий завод (компанія ТОВ «НАДЄЖДА Л»). Вони поставляють продукцію споживачам України та експортують у країни Європи. Такі підприємства мають можливість купувати сучасне автоматичне та полуавтоматичне обладнання, розраховане на виробництво значних обсягів дріжджової продукції. Але пресовані дріжджі не є продуктом довготривалого зберігання. Тому на згаданих виробляють не тільки пресовані, але і сушені дріжджі, і саме за рахунок сушеної складової продукту вони мають значний ринок збуту.

Одночасно в Україні зберігають своє значення малопотужні підприємства з технологічними лініями заводського типу, які спеціалізуються на виробництві виключно пресованих дріжджів, але не мають сучасного обладнання для організації технологічних ліній сушіння.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кім того в Україні існують виробники дріжджової продукції, асоційовані з меласно-спиртовими заводами, які також виробляють тільки пресовані дріжджі. Ця категорія виробників впевнено займає 15% дріжджового ринку України, і значення цієї категорії виробників зростає. По-перше, це обумовлено зростанням попиту саме на пресовані дріжджі, адже за визначенням спеціалістів, якість пресованих (живих) дріжджів суттєво вища за якість сушених. По-друге, під час воєного стану сконцентроване виробництво важливого продукту харчової галузі на трьох точкових гігантах є критичним для забезпечення населення продуктами хлібопекарного виробництва.

У той же час, у підприємств малої та середньої потужності з обмеженим обсягом виробництва виникають складності з придбанням та використанням нового обладнання імпортного виробництва, для якого проблеми ефективного енергоспоживання значною мірою вирішені на сучасному рівні.

Для таких підприємств актуальним є впровадження нових ефективних енергозберігаючих технологій у технологічному процесі, як відповідь на задекларовану державою Україна стратегію розвитку паливно-енергетичного комплексу, спрямовану на підвищення енергетичної безпеки держави.

Серед пріоритетних напрямків на перше місце виходить енергозбереження, тобто раціональне використання паливно енергетичних ресурсів, що веде по-перше, до загального зменшення потреби в енергоресурсах; по-друге, зменшення долі вартості енергоресурсів у собівартості кінцевого продукту; по-третє, зменшення викидів продуктів згоряння і, відповідно, покращення екологічного стану. Важливу роль у пошуку шляхів до енергозбереження на виробництві відіграють спеціалісти галузі електрична інженерія, які осучаснюють, грамотно організують електропривод технологічного обладнання малих та середніх за потужністю виробництв різного спрямування.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1 Характеристика технологічного обладнання та режимів його роботи

1.1 Головні етапи технологічного процесу та комплекси технологічного обладнання. Дріжджі використовують не тільки хлібопекарній галузі, але і для виробництва вітамінних та лікарських препаратів, як основу для харчових добавок при відгодовуванні худоби. Тому на часі розробка нових технологій вирощування дріжджів, нового обладнання для реалізації цих технологій, створення нових автоматичних та напівавтоматичних ліній (або навіть заводів) дріжджового виробництва з ефективним енергоспоживанням. Іншими словами, для підприємства дріжджового виробництва малої і середньої потужності завжди актуальною залишається задача економії електроенергії.

Незалежно від форми підприємства (державна, або недержавна), його потужності, географічного розташування виробництво хлібопекарських дріжджів складається з наступних технологічних процесів [1]:

- 1 - підготовка живильного середовища (меласа+вода),
- 2 - вирощування дріжджової маси
- 3 - виділення дріжджів з бражки
- 4 – зневоднення дріжджової маси
- 5 – формування брикетів, пакування готового продукту

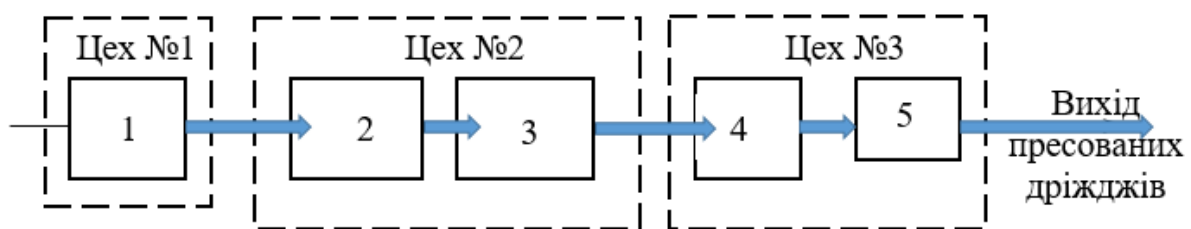


Рис.1.1. Технологічна схема виробництва продукту «Пресовані хлібопекарські дріжджі»

З представленої на рис.1.1 технологічної схеми видно, що процес виробництва дріжджів є лінійним, тобто сировина перетворюється на готовий продукт послідовно, кожна стадія процесу може бути реалізована в окремому цеху, кожна стадія процесу потребує певного часу для своєї реалізації.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Комплекси обладнання відповідають показаній на рис.1 технологічній схемі виробництва продукту «Пресовані хлібопекарські дріжджі».

Лінія розпочинається з комплексу 1 обладнання для обробки сировини, що складається з апаратів для приготування живильного середовища, сепараторів-кларифікаторів для меласи і пароконтактних апаратів для стерилізації сировини. Цей комплекс обладнання розташований в окремому цеху №1.

Основний комплекс 2 технологічного обладнання складається з дріжджоростильних апаратів, облаштованих аераційною системою для насичення дріжджової суспензії киснем. На цьому етапі відбувається барботаж повітря через об'єм дріжджової суспензії, для чого використовують, так звані, повітродувні машини. Наступний комплекс 3 складається з апаратів для виділення дріжджів, у складі якого є дріжджові сепаратори, фільтр-преси та вакуум-преси барабанного типу. Далі організований комплекс обладнання 4, який складається з сушильних установок, облаштованих стрічковими сушарками, сушарками з віброкиплячим шаром, вакуумними сублімаційними сушарками.

Завершальний етап виробництва, в результаті якого виходить готовий (товарний) продукт, облаштований комплексом обладнання 5, який складається з машин для формування брикетів, пакування, і конвеєру для транспортування продукції в холодильні камери складських приміщень. На лінії 5 виготовляють пресовані дріжджі (вміст вологи 75%).

1.2. Машинно-апаратурна схема процесів вирощування дріжджової маси і режим споживання води. Взагалі технологія вирощування дріжджової маси є достатньо енергоємною: технологія підготовки меласи включає її обробку пароконтактними апаратами; вода, необхідна для розбавлення меласи, потребує обеззаражування кип'ятінням з наступним охолодженням; дріжджова маса у процесі росту має підтримуватися електричними нагрівачами при температурі 28-32°C незалежно від температури технологічного приміщення [2,3].

Крім того, значна кількість води потрібна для промивання дріжджової маси на різних етапах її вирощування; кожний цикл технологічного процесу потребує

					<i>КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

ретельного очищення технологічного обладнання та його санітарної обробки.

На рис.1.2, де показана машинно-апаратна схема вирощування дріжджової маси, системі подачі і розподілення води, приділена дуже скромна роль. Хоча з точки зору загального споживання підприємства дріжджового виробництва більше 80 % спожитої води використовує саме виробничий цех 2.

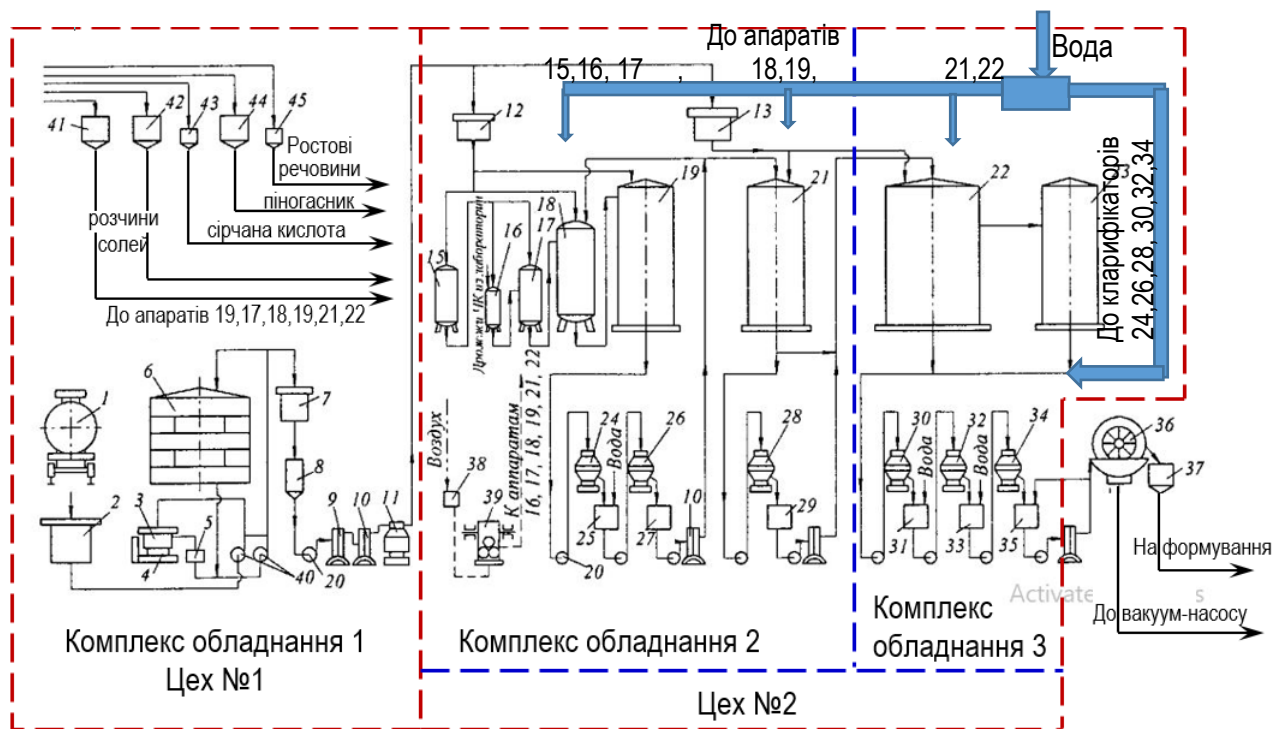


Рис.1. 2. Машинно-апаратна схема вирощування дріжджової маси [3]

(1-11) – обладнання для підготовки живильного середовища (меласи); (15,16) – вирощування природно-чистих (ПЧК) та чистих культур (ЧК); (18,19,21) – дріжджовирощувальні апарати з різним ступенем готовності продукту; (22,23) – апарати для відстоювання та відбору дріжджової маси; (24,26,28, 30,32,34) сепаратори-кларифікатори для промивання дріжджової маси на всіх етапах технологічного процесу; (38) – комплекс обладнання для підготовки повітря; (39) – насос для прокачки повітря (барботажа) через усі дріжджовирощувальні апарати (15-22).

1.3. Санітарно-гігієнічний режим дріжджового виробництва

1.3.1 Порядок дезінфекції технологічного обладнання та виробничих приміщень. Дезінфекцію обладнання проводять тільки після видалення з нього живильного середовища, дріжджів і ретельного миття. В якості миючих засобів використовуються каустична і кальцинована сода, а в якості дезінфікуючих засобів

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

для боротьби зі сторонніми мікроорганізмами - хлорне вапно, антиформін, формалін, газоподібний формальдегід, гіпохлорид кальцію.

Дріжджові сепаратори, промивні чани, збірники для згущеного дріжджового концентрату, фільтр-преси, вакуум-фільтри необхідно регулярно (1 раз на цикл) організувати чищення та миття. Всі трубопроводи після закінчення циклу промивають холодною водою і пропарюють протягом 20-30 хв.

Якщо використовується сучасна автоматична або напівавтоматична лінія, обробка обладнання також виконується у автоматичному режимі (без розбирання кожного елемента) [3]. Всі стадії обробки обладнання регламентовані у часі [2] і після завершення 1 циклу вирощування дріжджової маси виконують

- А) попереднє ополіскування чистою водою 3-5 хвилин;
- Б) миття 2-% лужним розчином в режимі циркуляції при температурі 70°C протягом 30-50 хвилин;
- В) ополіскування чистою водою до відсутності лужної реакції 2-3 хвилин;
- Г) миття 1-2% розчином азотної кислоти 10-15 хвилин;
- Д) проміжне ополіскування чистою водою 2-3 хвилини;
- Е) обробка дезінфікуючим розчином 10-15 хвилин.

Як дезінфікуючі засоби використовують розчин хлорного вапна. Загальний час обробки варіюється від 50 до 90 хвилин (тобто 31 і 32 години після 30-годинного циклу вирощування дріжджової маси) [2].

Санітарна обробка технологічного приміщення складається з поверхневого очищення технологічних апаратів та миття підлоги, відведено часу 1 година після закінчення робочої зміни (8-ма година кожної робочої зміни).

Санітарний режим довільного біотехнологічного підприємства передбачає також відвідування санітарних приміщень персоналом під час робочої зміни та

відвідування душових кабінки після закінчення зміни (кожна 9-та година тридцятигодинного циклу вирощування біомаси).

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

1.3.2 Організація водопостачання на підприємстві

Для організації водопостачання промислових підприємств використовують насосні станції. Насосна станція (НС) - це складний електрогідравлічний технічний комплекс споруд і устаткування, в якому здійснюється перетворення електричної енергії в механічну енергію потоку рідини і управління цим процесом перетворення. Насосні водопровідні станції підрозділяють на станції 1-го, 2-го, 3-го і наступних рівнів підйому і каналізаційні [4].

Насосна станція 1-го підйому керує глибинними насосами, розташованими в свердловинах. Підтримує заданий рівень води в накопичувальному резервуарі і застосовується у складі водопідйомних технологічних споруд спільно зі станціями управління насосами 2-го і 3-го підйомів.

Насосна станція 2-го підйому виконує забір води з акумулюючого резервуару і створення тиску у водопровідній мережі забудови малої і середньої поверховості. Тиск у водопровідній системі підтримується у відповідності добового або тижневого графіку споживання.

Виробничі цехи, адміністративні та побутові приміщення дріжджового виробництва розташовані у приміщеннях 0 рівня (підвальні або напівпідвальні) 1-2 рівня (1-3 поверхи стандартної висотності). Таким чином для організації водопостачання такого підприємства можна обмежитися підвищенням енергоефективності насосної станції 2-го підйому.

Аналіз витрат енергоресурсів на підприємствах показує, що для підвищення ефективності використання ресурсів існує два напрямки.

1. Організаційно-технічні заходи, спрямовані на виключення зайвих витрат сировинних ресурсів (у даному випадку води внаслідок протікань), та неефективного використання електроенергії внаслідок втрат у внутрішніх електромережах підприємства, використання застарілого обладнання з низьким показником $\cos \varphi$.
2. Впровадження енергоефективних технологій та енергозберігаючого обладнання, що дозволяють виконати той же обсяг робіт при менших витратах електроенергії.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електропривод є енергосиловою основою сучасного виробництва, на підприємствах промислових харчової галузі використовуються електроприводи з асинхронними двигунами із загальновідомі недоліками: а) важкий пуск при прямому підключенні до мережі живлення, що супроводжується 6-7 кратними імпульсними струмами у перехідних процесах, і, як наслідок, невисока експлуатаційна надійність; б) складність регулювання швидкості обертання валу двигуна, тобто розробки керованих технологічних процесів.

1.4 Об'єкт дослідження і мета проекту

Впровадження ефективних енергозберігаючих технологій є актуальним для енергетичної безпеки України, тому актуальною є тема проекту, спрямована на модернізацію і підвищення енергоефективності електроприводу виробничого обладнання.

Об'єктом дослідження є електропривод головного двигуна насосної станції водопостачання дріжджового виробництва

Метою проекту є підвищення ефективності споживання електроенергії та зменшення зайвих витрат води в системі.

Для досягнення мети **сформульована задача** розробки частотно-регульованого електроприводу головного насоса, що забезпечить зменшення пускового струму двигуна та механічного моменту під час розгону і гальмування, відповідно підвищення терміну використання обладнання та зменшення навантаження на мережі живлення, а також зменшення зайвих витрат води у водорозподільчій мережі.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Розрахунково - конструкторська частина

Для виконання вимог технічного завдання необхідно провести розрахунок потужності і по каталогах виробників вибрати відповідні обладнання. Так як поставленим завданням є регулювання напору зміною частоти обертання робочого колеса насоса, то привід, який обирається в даній установці, повинен мати можливість зміни швидкості обертання валу двигуна.

Основною ланкою в системі електроприводу є електродвигун. Відомо, що застосування асинхронних двигунів підвищує надійність електроприводу, а також знижує капітальні витрати і експлуатаційні витрати [4, 5].

2.1. Графік добового навантаження. Вибір насосу

Основні параметри, за якими обираємо насоси – це **подача** (розхід води за 1 годину), **напір** (на яку максимальну висоту можна піднімати воду без втрати швидкості струменю). Визначимо необхідні параметри для нашої технічної задачі з орієнтовного графіку добового навантаження. Найвищий розхід води порядку $Q \sim (10 \div 15) \text{ м}^3/\text{год}$ – за 2 години до початку циклу вирощування дріжджової маси (заповнення сировиною балонів 16, 17 (рис.1.2)) для підготовки засівного матеріалу; (0-5 год. циклу) $Q \sim (2 \div 5) \text{ м}^3/\text{год}$ – обмежене споживання; (5-7 год.циклу) $Q \sim (10 \div 15) \text{ м}^3/\text{год}$ (заповнення сировиною балонів 18-21(рис.1.2)) вирощування дріжджової маси для виробництва товарного продукту. Виходячи з цих потреб найближчим за можливостями є насос КМ 20/30, який забезпечує подачу $25 \text{ м}^3/\text{година}$ за паспортними даними.

Резервуар із запасом води розташований у підвальному приміщенні, висота стелі 4 м, заглиблений у підлогу на глибину 3,5 м, висота будівлі, де розміщений цех №2 (вирощування дріжджової маси висота стелі 8 м), адміністративні та санітарно-технічні приміщення 3 поверхи (12 м), отже з донної частини резервуару до технічних приміщень третього поверху маємо

$$12 \text{ м} + 4 \text{ м} + 3,5 \text{ м} = 19,5 \text{ м.}$$

Технологія виробництва передбачає використання запасу води з водонапірної башти висотою 15 м при аварійному відключенні електроенергії.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальний потрібний напір із запасом 1,3 складає $19,5 \cdot 1,3 = 25,5$ м і не перевищує нормативний параметр для насосу КМ 20/30 (32 м).

Насос КМ 20/30, показаний на рис.2.1, представляє собою відцентровий насос, робочим органом якого є відцентрове колесо.

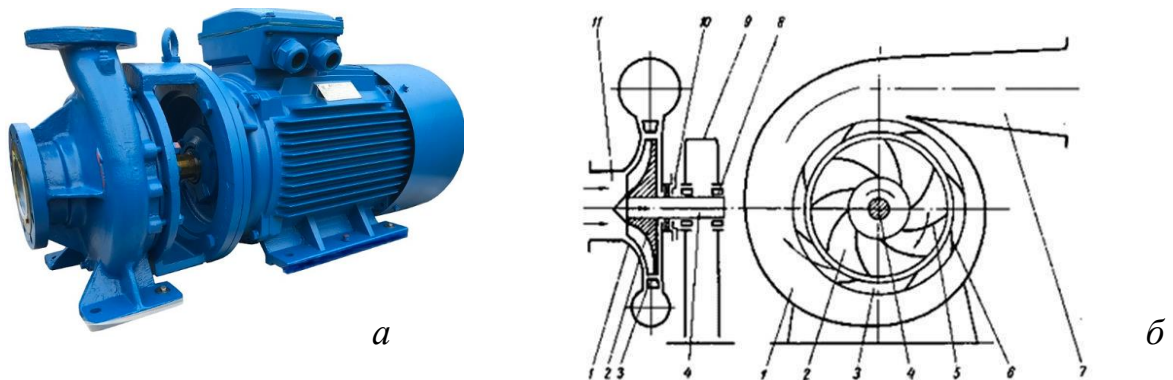


Рис. 2.1 . Насос КМ 20/30

a – загальний вигляд, *б* – принципова схема

- 1 - робоча камера; 2 - робоче колесо; 3 - направляючий апарат; 4 - вал;
 5 - лопатка робочого колеса; 6 - лопатка направляючого апарату; 7 - нагнітальний патрубок; 8 - підшипник; 9 - корпус насоса (опорна стійка); 10 - гідравлічне торцеве ущільнення валу (сальник); 11 - всмоктувальний патрубок.

Об'ємні насоси працюють за принципом витіснення, коли тиск переміщуваної рідини підвищується в результаті стиснення. До них відносяться зворотно-поступальні (діафрагмові, поршневі) і роторні (аксіально-поршневі і радіально-поршневі, шибєрні, зубчасті, гвинтові і т. П.) насоси.

Динамічні насоси працюють за принципом силового впливу на переміщувану середу. До них відносяться лопатеві (відцентрові осьові) нагнітачі і нагнітачі тертя (вихрові, дискові, струменеві і т. П.). Переважне використання отримали насоси відцентрового типу [4,5].

Насоси відцентрові типу КМ призначені для перекачування води та водних розчинів, що мають подібні з водою властивості по в'язкості $(1 \div 36) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ (в таблицях внесистемна одиниця **сантіСтокс**, $1 \text{ сСт} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) і хімічної активності, температурою від 1 до 85 ° С , що не містять твердих включень за масою більше 0,05%, розміром більше 0,2 мм і мікротвердістю більше 6,5 ГПа [5].

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Табл. 2.1. Номінальні параметри насосу КМ 20/30 за паспортом [6].

Параметр, позначення	Значення	Од. вимірюв.
Подача, $Q_{\text{НОМ}}$	25,0	м ³ /ГОД
Напір, H	32,0	м
Потужність насосу	3,4	кВт
Тиск на вході не вище	3,5	кГ/см ²
Маса насоса, т	34	кг
КкД, $\eta_{\text{НОМ}}$	60	%
Момент інерції, J	1.91	кгм ²
Кавітаційний запас, ΔH	3,8	м, не менше
Макс. потужність, $P_{\text{ДВИГ}}$	5,5	кВт
Частота обертання, n	2900	об/хв
Маса агрегату, т	76	кг
Загальна характеристика	консольно-моноблочний для води	
Країна виробник	Україна	
Ціна без двигуна	8790 грн.	

<https://nasos-2005.com/ua/p592345848-nasos-2030-tsentrobezhyj.html>

Перевіримо розрахунками задекларовані параметри двигуна, рекомендованого для даного насосу. Насоси відносяться до механізмів, в яких не відомо яке навантаження буде на валу двигуна в даний момент часу. Якщо розглядати роботу насосів статистично, то більшу частину часу споживання води буде невеликим, відповідно система регулювання знизить швидкість насосів настільки, щоб натиск тримався постійним.

Зважаючи на це споживання потужності з мережі буде невеликим, але цілком можливі і такі випадки, при яких споживання і, отже, швидкість будуть високі. Тому двигуни слід вибирати під номінальні параметри насоса. Представимо подачу у системі одиниць SI

$$Q_{\text{НОМ}} = 25 \text{ м}^3/\text{годину} = \frac{25}{3600} \text{ м}^3/\text{с} = 0,006944$$

Розрахуємо потужність на валу двигуна за формулою з [5]

$$P_{\text{ВАЛ}} = \frac{\rho \cdot g \cdot (H_{\text{НОМ}} + \Delta H)}{1000 \cdot \eta_{\text{НОМ}}} \cdot Q_{\text{НОМ}} \quad (2.1)$$

$$P_{\text{ВАЛ}} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot (32 + 3,8)}{1000 \cdot 0,6} \cdot 0,006944 = 4,097 \text{ кВт}$$

У цій формулі

g - прискорення вільного падіння;

ρ - густина води;

$Q_{\text{НОМ}}$ - номінальна продуктивність (подача) насоса ;

$H_{\text{НОМ}}$ - номінальний напір насоса;

$\Delta H = 6,5$ - кавітаційний запас, м;

$\eta_{\text{НОМ}}$ - номінальний ККД насоса.

Отже двигуни, встановлені на насосній станції, повинні мати номінальну потужність більшу за 4,097 кВт. Як видно, двигун потужністю 5,5 кВт задовольняє потреби насосної станції. Тому можна спиратися на рекомендації виробника насоса.

2.2. Вибір двигуна та розрахунок його параметрів

Найближчим за параметрами до визначених для даного електропривода є електродвигун АИР100L4 потужністю 5,5 кВт з кількістю пар полюсів 1, відповідно $n_0 = 3000$ об/хвил; у таблиці 2.2 показані номінальні параметри, приведені в паспорті пристрою, їх позначення і розмірність.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Таблиця 2.2 Паспортні дані АИР100L4, показані на сайті Системи якості [7]

Номінальна потужність на валу двигуна $P_{НОМ}$, кВт	5,5
Номінальна напруга живлення $U_{НОМ}$, В	380
Частота обертання поля статора n_0 , об/хвил	3000
Частота обертання валу при напрузі 380 $n_{НОМ}$, об/хв	2850
Номінальний струм $I_{НОМ}$, А	11,1
ККД	87.5 %
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$	0,8
Номінальний обертаючий момент $M_{НОМ}$, Н·м	18,43
Відношення пуск. струму до номінального $I_{П}/I_{НОМ}$	7,5
Відношення пуск. моменту до номінального $M_{П}/M_{НОМ}$	2,3
Відношення максимального моменту до номінального $\lambda = M_{max}/M_{НОМ}$	2,7
Момент інерції J , кг · м ²	0,008

За базовими співвідношеннями електротехніки [8,9] розраховуємо параметри, необхідні для будови механічної характеристики, а також для моделювання режимів роботи електроприводу електроприводу в *Simulink*.

Розраховуємо **номінальний струм** трифазного навантаження

$$I_{НОМ} = \frac{P_{НОМ} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{1НОМ} \cdot \eta'_{1НОМ} \cdot \cos \varphi'_{1НОМ}}, \text{ А} \quad (2.2)$$

$$I_{НОМ} = \frac{5500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8 \cdot 0,87} = 12,02 \text{ А}$$

Виходячи з зазначеного відношення пускового та номінального струмів

$$\frac{I_n}{I_{НОМ}} = 7,5 \quad \Rightarrow \quad I_{П} = 7,5 \cdot I_{НОМ} \quad (2.3)$$

розраховуємо **пусковий струм**

$$I_{П} = 7,5 \cdot 12,02 \text{ А} = 90,15 \text{ А}$$

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Визначаємо **номінальне ковзання**

$$s_{\text{НОМ}} = \frac{n_0 - n_{\text{НОМ}}}{n_0} = \frac{3000 - 2850}{3000} = 0.05 \quad (2.4)$$

Розраховуємо **номінальний момент на валу двигуна**, користуючись виразом

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega}, \quad (2.5)$$

де ω – циклічна частота обертання ротора $n_{\text{НОМ}} = 2900$ об/хв при номінальній частоті обертання магнітного поля статора $n_{\text{сНОМ}} = 3000$ об/хв.

Визначаємо значення ω в одиницях вимірювання SI (рад/с)

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{НОМ}}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2900}{60} = 303,5 \text{ рад/с} \quad (2.6)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.5)

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{5500}{303,5} = 18,12 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.7)$$

(У паспорті вказано $M_{\text{НОМ}} = 18,43 \text{ Н} \cdot \text{м}$, тобто збігається з виконаними розрахунками).

Розраховуємо пусковий обертаючий момент

$$M_{\text{п}} = 2,3 \cdot M_{\text{НОМ}} = 2,3 \cdot 18,12 = 41,68 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.8)$$

Розраховуємо максимальний допустимий обертаючий момент

$$M_{\text{max}} = 2,7 \cdot M_{\text{НОМ}} = 2,7 \cdot 18,12 = 48,92 \cdot \text{м} \quad (2.9)$$

Будуємо **природну механічну характеристику двигуна** з використанням формули Клоса [8].

$$M = \frac{2 \cdot M_K}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}} \quad (2.10)$$

Для формули (2.10) спочатку розраховуємо критичне ковзання

$$\begin{aligned} s_K &= s_{\text{НОМ}} \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = \\ &= 0,05 \cdot (2,7 + \sqrt{2,7^2 - 1}) = 0,171 \end{aligned} \quad (2.11)$$

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підставляємо відомі параметри у вираз (2.11), враховуючи, що виконується рівність $M_{max} = M_K$, отримуємо залежність $M(s)$ з числовими параметрами

$$M(s) = \frac{2 \cdot 43,92}{\frac{s}{0,26} + \frac{0,26}{s}} \quad (2.12)$$

Вираз (2.12) застосовуємо для будови графіку $M(s)$ у графічній складовій програми MathCAD. Отриманий результат показаний на рис. 2.2.

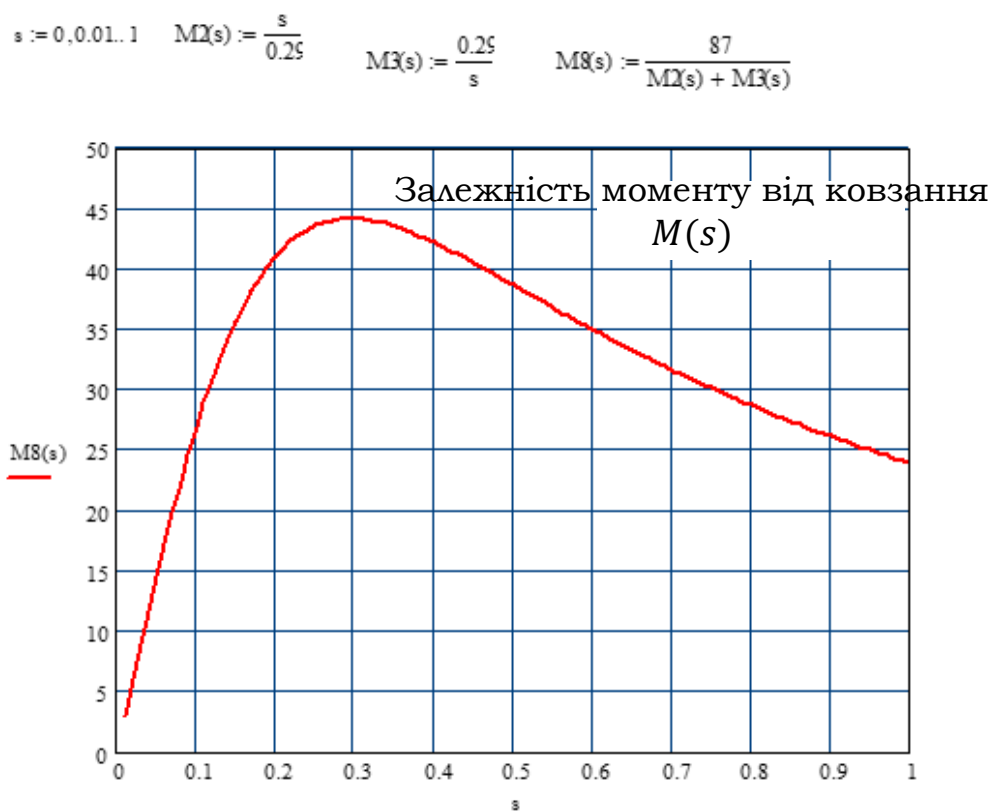


Рис. 2.2. Природна робоча характеристика двигуна АІР100L4

Залежність, показана на рис.2.2, побудована у форматі формул і графічних залежностей MathCAD. Не можна відкласти параметри на осях у стандартному вигляді і, крім того, зручніша для використання залежність частоти обертання валу двигуна від прикладеного обертового моменту. Цю залежність отримаємо поворотом графіка $M(s)$ (Рис. 2.2.) за годинниковою стрілкою на 90° .

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11

Арк.

22

Після повороту графіку на вертикальній осі маємо частоту обертання, яка зв'язана з ковзанням співвідношенням

$$s = (n_0 - n) / n_0 \Rightarrow n = n_0 \cdot (1 - s). \quad (2.13)$$

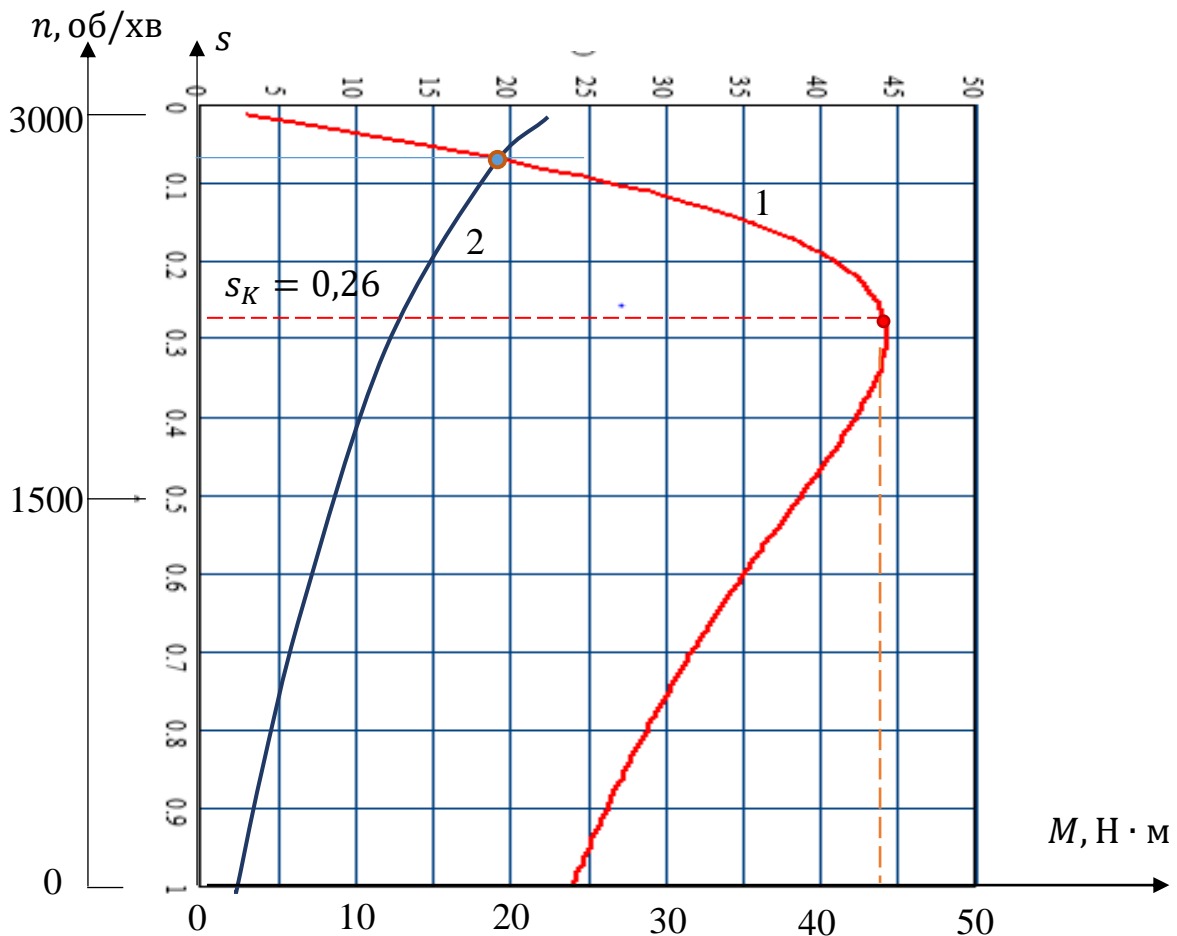


Рис. 2.3. Природна механічна характеристика двигуна (крива 1), робоча характеристика насоса (крива 2)

Точка перетину механічної характеристика двигуна та робочої характеристики насоса є робочою точкою даного електроприводу. Якщо будемо змінювати параметри напруги, що подаємо на двигун, буде змінюватися крива 1 - робоча характеристика двигуна. Робоча характеристика насоса (крива 2) змінюватися не буде. По цій кривій буде ковзати робоча точка електроприводу.

Якщо будемо закономірно змінювати положення робочої точки, отримаємо керований електропривод.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11

Арк.

23

Формат А4

2.3 Вибір системи регулювання електроприводу та перетворювача частоти

2.3.1. Способи регулювання насосної установки

Регулюючі дії можуть носити конструкторсько-технологічний характер або оперативно-експлуатаційний. До конструкторсько-технологічних дій на характеристики системи насос-трубопровід слід віднести:

- вибір геометричних і технологічних параметрів самого трубопроводу відповідно до технічного завдання;
- підбір параметрів насоса;
- обточування колеса насоса з метою зміни його характеристики;
- заміна колеса насоса з тією ж метою.

Всі ці заходи виконуються на стадії проекту, монтажу і наладки трубопроводу, вони не можуть бути використані оператором в процесі щоденної експлуатації трубопроводу, тому ми розглядати їх далі не будемо.

В даний час відомо чотири методи оперативного регулювання режимів роботи водопроводів:

- регулювання методом послідовного (паралельного) включення насосів;
- регулювання методом дроселювання трубопроводу;
- регулювання методом перепускання частини подачі насоса на його вхід;
- регулювання зміною частоти обертання приводного електродвигуна.

Виходячи з опису технологічного процесу, можна сформулювати наступні вимоги, що пред'являються до електроприводу:

- тривалий режим роботи електродвигуна;
- плавний пуск;
- широкий діапазон регулювання по частоті;
- повинен забезпечити компенсацію втрат на довгому кабелі;

В цілому, електропривод повинен забезпечити безвідмовну і довговічну роботу установки у всіх режимах експлуатації, що значною мврою залежить від системи управління електродвигуном.

					<i>КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11</i>	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В даному проекті як привід використовується асинхронний двигун.

Асинхронний електродвигун – електродвигун змінного струму, в якому частота обертання ротора відрізняється від частоти обертового магнітного поля статора, створеного напругою живлення. Ці двигуни найбільш поширені в даний час і існує три системи керування електроприводом:

Приводом вентилятора є асинхронний двигун (АД) з короткозамкненим ротором. У даний час використовують такі системами керування [8, 9]

- релейно – контакторна; забезпечує пуск, реверс та захист асинхронного двигуна за допомогою релейно- контакторної схеми (РКС-АД);
- на основі різних схем з'єднання тиристорних ключів; забезпечують у найпростішому варіанті пуск та керування режимами роботи асинхронного двигуна за допомогою тиристорного перетворювача потужності (ТРН-АД);
- з використанням перетворювачів частоти; забезпечують плавний пуск, керування режимами роботи та захист асинхронного двигуна з використанням частотного регулювання, (ПЧ-АД).

Релейно-контакторна система (РКС-АД) використовується тільки в обладнанні надвисокої потужності, транспорт, тяглові механізми, обладнання гірничо-добувної галузі. Позитивними якостями системи РКС-АД є а) значна комутаційна потужність; б) висока перешкодостійкість; в) гальванічне розв'язання силових кіл та кіл керування. РКС– це логічні системи управління, які виконані на релейно-контакторній елементній базі (магнітні пускачі, теплові реле, контактори, геркони), які можуть виконати автоматичний пуск, гальмування, зупинку електродвигуна, його реверсне обертання, а також забезпечити його захист

Керуючі системи (перетворювачі вхідної напруги) на основі керованих випрямлячів (тиристорів) мають всі функціональні можливості, як і РКС-системи, але додатково на їх основі розроблені перші перетворювачі частоти.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Ці перетворювачі не дають можливості змінювати частоту у широкому діапазоні, але для значної кількості технологічних задач їх можливості виявляються достатніми. На даний час орієнтовно 80% технологічного застосування керованих електроприводів має у своїй основі перетворювачі цієї групи.

Частотне регулювання електроприводу, (ПЧ-АД), з використанням перетворювачів частоти з проміжною ланкою постійного струму і автономним інвертором напруги це найсучасніша система керування, в основі роботи схем керування цієї системи лежать сучасні досягнення силової електроніки. Узагальнимо усі можливості використання системи керування (ПЧ-АД) [8, 9]. .

А) Організація плавного пуску асинхронного двигуна у прямому і реверсному режимі, згладжування піків струму та механічного моменту у перехідних процесах при вмиканні і розмиканні кола живлення асинхронного двигуна.

Б) Широкий діапазон регулювання швидкості обертання валу до 7-10% від номінального значення, зрозумілий спосіб організації регулювання при застосуванні широтно-імпульсній модуляції напруги живлення (ШІМ – технологія), інша назва скалярне керування електроприводом.

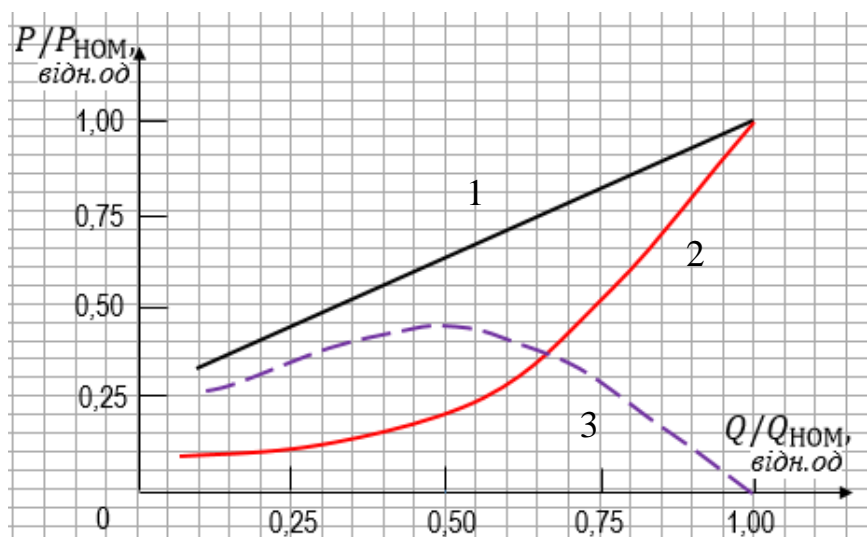


Рис. 2.4 - Залежності споживаної потужності від розходу для насоса нерегульованого (1); регульованого з ПЧ (2); 3 – ефективність енергоспоживання при регульованому приводі

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

В) Суттєва економія енергоспоживання при роботі на знижених оборотах електродвигуна; про це свідчить рис.2.3: для насосу з нерегульованим електроприводом (крива 1) спожита потужність і продуктивність насосу зв'язані лінійною залежністю; якщо електропривод насосу регульований з ПЧ (крива 2) веде до швидкого падіння відносної потужності у порівнянні із зниженням продуктивності насосу; різниця між значеннями кривої 1 і кривої 2 характеризує заощаджену потужність (електроенергію) при використанні ПЧ керування; характерно, що максимум кривої 3 припадає на зниження розходу на 50 %, $Q / Q_{\text{НОМ}} = 0,5$; при використанні тиристорних схем керування взагалі неможливо досягти такого зниження розходу Q (тобто частоти обертання робочого колеса насосу n) і вийти у економічний режим споживання електроенергії схемотехнічними рішеннями.

Г) Плавне регулювання і можливість автоматичного обмеження параметрів роботи електричної машини (M, I). Як наслідок, короткочасне падіння напруги або імпульсне її зростання не зумовлює пошкодження обмоток електродвигуна, механічної складової обладнання, аварійного останову технологічного процесу.

Структурна схема перетворювача частоти з проміжним контуром постійного струму приведена на рис. 2.4.

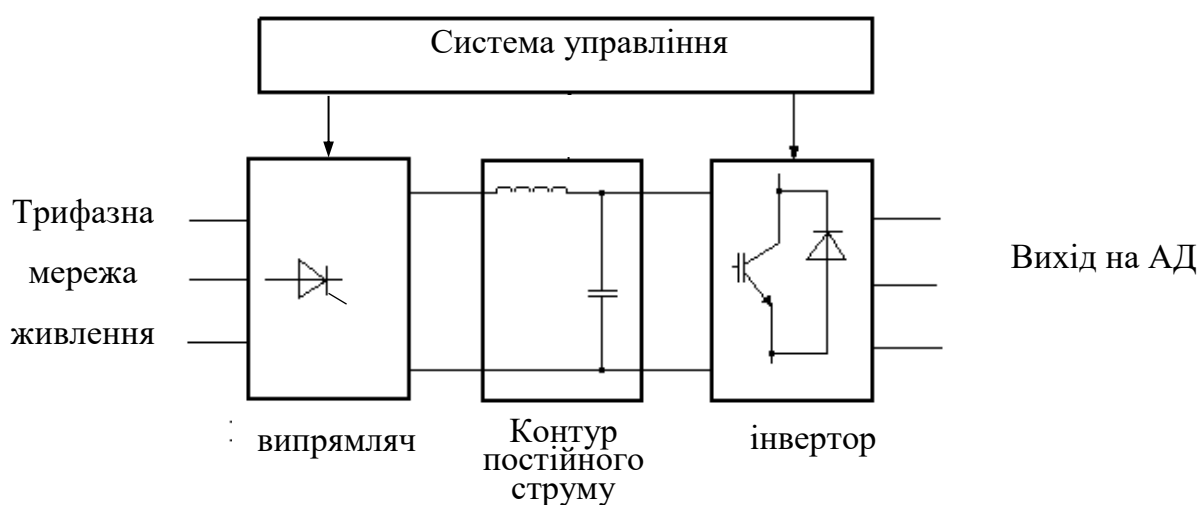


Рис.2.5 - Функціональна схема перетворювача частоти (ПЧ) з проміжним контуром постійного струму.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Змінна напруга мережі перетворюється у постійну за допомогою тиристорного випрямляча і згладжується у проміжному колі індуктивно-ємнісним фільтром.

Інвертор, вихідний каскад якого звичайно виконується на основі IGBT-модулів, здійснює зворотне перетворення із постійного струму у змінний, забезпечуючи формування вихідного сигналу з необхідними значеннями напруги і частоти.

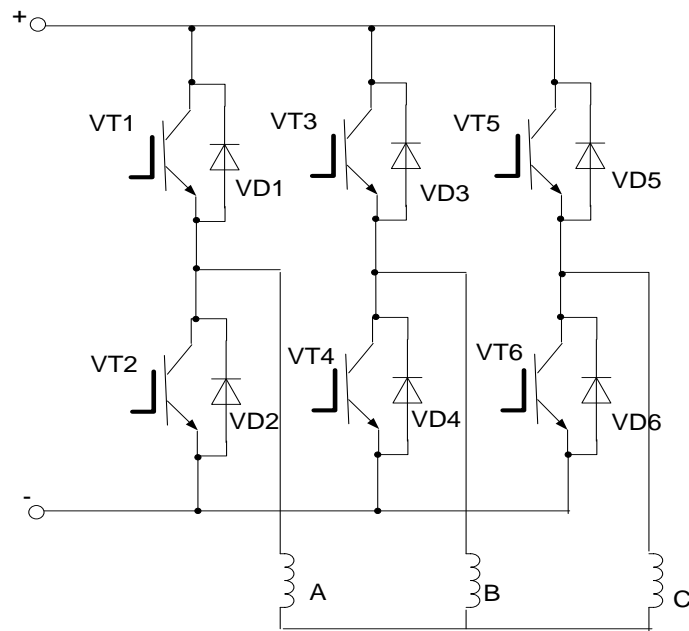


Рис.2.6 - Принципова схема автономного інвертора

В якості замикаючих ключів в АІ (рис. 2.6) можуть використовуватися GTO тиристири або IGBT транзистори.

Тиристор є напівкерованим приладом: для його включення досить подати короткий імпульс на керуючий висновок, але для виключення необхідно або прикласти до нього зворотну напругу, або знизити комутований струм до нуля. Для цього у тиристорного перетворювача частоти потрібна складна і громіздка система керування. Біполярні транзистори з ізолюваним затвором IGBT відрізняють від тиристорів повна керованість, проста неенергоємних система управління, найвища робоча частота.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11

Арк.

28

Формат А4

Внаслідок цього перетворювачі частоти на IGBT дозволяють розширити діапазон управління швидкості обертання двигуна, підвищити швидкодію приводу в цілому.

Застосування IGBT з більш високою частотою перемикання в сукупності з мікропроцесорною системою управління в перетворювачах частоти знижує рівень вищих гармонік, характерних для тиристорних перетворювачів. Як наслідок - менші додаткові втрати в обмотках і магнітопроводі електродвигуна, зменшення нагріву електричної машини, зниження пульсацій моменту і виключення так званого «крокування» ротору в діапазоні малих частот. Знижуються втрати в трансформаторах, конденсаторних батареях, збільшується їх термін використання, зменшується кількість помилкових спрацювань пристроїв захисту і похибки індукційних вимірювальних приладів.

Саме в інверторі реалізований метод високочастотної широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Вихідний сигнал перетворювача – це послідовність імпульсів напруги постійної амплітуди і змінної тривалості. Така імпульсна напруга на індуктивному навантаженні, яким є обмотка статора, формує струми синусоїдальної форми (рис. 2.7). Можливий діапазон регулювання частоти від нуля до декількох тисяч герц.

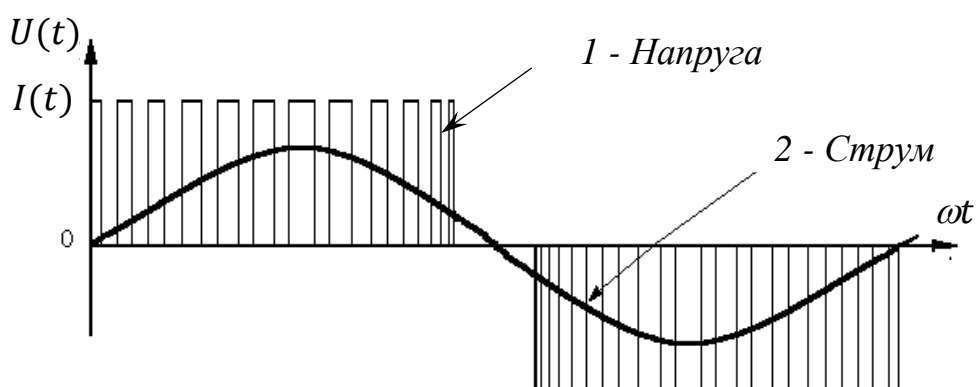


Рис.2.7. Вихідні сигнали перетворювача частоти:

1 – напруга, 2 – струм

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Якщо частота ШП-імпульсів $f_{ШП}$ буде наближатися до 5 кГц, функція струму буде максимально наближеною до синусоїди, причому зсув фаз між прикладеною напругою і струмом обмотки статора буде наближатися до нуля, відповідно в ідеалі $\cos\varphi \cong 1$.

Виходячи з представлених вище міркувань, найдоцільніше застосувати перетворювач частоти з проміжною ланкою постійного струму і автономним інвертором напруги.

2.3.2. Вибір перетворювача частоти

Функцію перетворення параметрів електричної енергії мережі живлення до таких значень, які необхідні для нормальної роботи приводного двигуна, а також функцію перетворення величини електричної енергії, що підводиться до двигуна для регулювання його швидкості і виконує перетворювальне пристрій. Як було розглянуто вище (розділ 3), в якості перетворювального пристрій прийнятий перетворювач частоти, на базі автономного інвертора напруги на IGBT-транзисторах з скалярною ШПМ-модуляцією [10].

При виборі перетворювача частоти необхідно керуватися такими основними вимогами:

- висока надійність при будь-яких режимах роботи;
- простота системи управління без погіршення основних параметрів вихідного струму, напруги та функціональних можливостей ПЧ;
- діапазон потужностей 7.5-11 кВт
 - номінальний струм ~ 25 А

Такі параметри перетворювача двократно перевищують номінальні параметри електроприводу, у такому випадку перетворювач захищений в умовах нестабільного навантаження, можливих перепадів напруги мережі живлення, випадкових аварійних відключень [10].

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

В якості перетворювача обираємо транзисторний перетворювач частоти **ABB ACS310-03E-25A4-4 3ф 11 кВт 25 А** Розробник США, виробничі потужності – Фінляндія. Обрана серія ACS310-03E-25A4-4 спеціально розроблена для каскадного управління обладнанням із змінним обертаючим моментом, такого як насоси та вентилятори. Він має спеціальні керуючі функції, які забезпечують ефективне управління головним насосом насосної станції для водопостачання виробничого підприємства.

Таблиця 2.3. Номінальні параметри **ABB ACS310-03E-25A4-4 11.0 кВт** [10].

Компанія АВВ, засновник	шведсько-швейцарська компанія
Країна виробник	Фінляндія
Номінальна потужність	11 кВт
Номінальний струм	21,3 А
Підключення до мережі: номінальні параметри, допустимі відхилення	3x380 В, +10%, –15%, 50(60) Гц ± 2%
Вихідна напруга	3x(0...380 В) ± 2% (значення максимальної вихідної напруги програмується)
Коефіцієнт корисної дії	не менше 0,95 (без двигуна)
Коефіцієнт потужності	не менше 0,95
Умови навколишнього середовища:	робоча температура +1 ...+50°C,
Короткочасне зменшення напруги в мережі, при якому електропривод зберігає працездатний стан	- 40%
Перетворювачі частоти від "Інтегровані Водні Технології ТОВ" - 1893660705 (shop-iwt.com.ua) https://shop-iwt.com.ua/ua/p1893662832-abb-acs310-03e.html	
Ціна 2024 р. 27 288 грн	

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31



Рис.2.8. Загальний вигляд серії **ACS310-03E**

За своєю силовою схемою це дволанковий перетворювач типу некерований випрямляч - автономний інвертор напруги (АІН) з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Силова частина автономний інвертор напруги побудована на транзисторних модулях, в своїй основі містять транзистори типу IGBT (біполярні транзистори з ізолюваним затвором). Перетворювач має мікропроцесорну систему управління, і призначений для керування асинхронним двигуном потужністю до 130 кВт. Лінійна напруга живлення приводу з таким перетворювачем 380 В.

Система управління перетворювачем містить вбудований пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор, параметри якого вводяться з цифрового пульта управління. Ввівши необхідні параметри можна налаштувати цей регулятор для регулювання тиску у водопровідній магістралі. Завдання тиску, і величину зворотного зв'язку можна здійснювати в аналоговому вигляді, використовуючи багатфункціональні аналогові входи.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Також перетворювач дозволяє забезпечити плавний розгін і гальмування двигуна по заданих часів пуску і гальмування. Вбудовані модулі захистів містять максимально-струмовий захист двигунів, захист від перевантаження схеми по напрузі, захист від перегріву транзисторів, захист від перевантаження двигуна і інші види захистів.

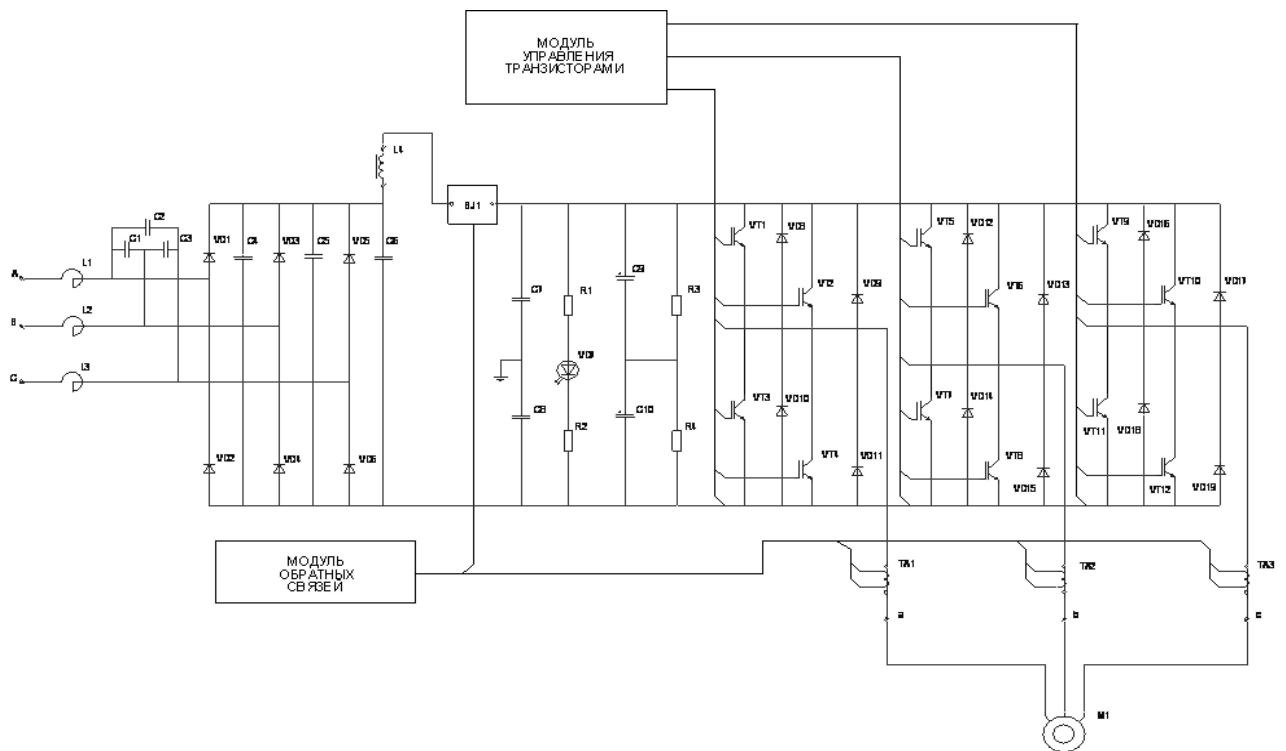


Рис.2.9. Схема ШІМ перетворювача серії ACS310-03E [10].

2.3 Вибір захисного обладнання та кабелю живлення

При розрахунку перерізу жил кабелю живлення враховуємо, що у застосованій системі вентиляції одночасно працюють два електродвигуни з номінальним струмом $I_{\text{НОМ}} = 12,3 \text{ А}$. Для роботи частотного перетворювача обрали номінальний струм $I_{\text{НОМПЧ}} = 23 \text{ А}$, з цього значення будемо виходити при розрахунку проводу та ізоляції кабелю живлення [11, 12].

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11

Арк.

33

При напрузі живлення до 1000 В необхідно виходити з допустимого нагрівання при довгостроковому нагріванні розрахунковим струмом $I_{\text{НАГР_ДОП}}$.

Довгостроково-припустимий струм $I_{\text{НАГР_ДОП}}$ на проводі або жилі кабелю зазвичай визначають визначаємо з використанням розрахункового струму обладнання $I_{\text{НОМ}}$ за співвідношенням

$$I_{\text{НАГР_ДОП}} \geq \frac{I_{\text{НОМ}}}{k_1 \cdot k_2}$$

$k_1=1$ – поправочний коефіцієнт на умови прокладки проводів і кабелів

$k_2=0.85$ - поправочний коефіцієнт на число працюючих кабелів, що лежать поруч у землі в трубах або без труб

Для нашого проекту необхідно користуватися параметром $I_{\text{НОМПЧ}}$, тоді маємо

$$I_{\text{НАГР_ДОП}} \geq \frac{I_{\text{НОМПЧ}}}{k_1 \cdot k_2} = \frac{12}{1 \cdot 0,85} = 14,1 \text{ А}$$

Користуємось таблицями [12] і визначаємо мінімально допустимий переріз жили $S = 1,7 \text{ мм}^2$. Ці результати при температурі розігріву проводу 65°C справедливі для кліматичних умов нашого регіону (повітря $+25^\circ\text{C}$, земля 15°C)

Визначаємо падіння напруги в кабелі живлення, на кожні 100 м кабелю.

$$\Delta U = I_{\text{НОМ}} \cdot \frac{\rho \cdot l}{S} = 14,1 \cdot \frac{0,0175 \cdot 10^{-6} \cdot 100}{1 \cdot 10^{-6}} = 24,6 \text{ В}$$

У відносних одиницях це складає

$$\delta = \frac{\Delta U}{U_{\text{НОМ}}} = \frac{24,6}{380} = 0,064 \approx 6 \%$$

Вибираємо кабель чотирижильний гнучкий марки ТУ ВВГнг-нд 4х1.5 (ТУ) [11]

Джерело: https://www.skad.com.ua/kabel_silovoy_mednyy_vvgng-nd_4h1.5_tu/

Технічні характеристики:

- номінальна напруга: 0,6/1 кВ;
- робоча температура: до 90°C ;
- температура короткого замикання: 250°C ;

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Застосування: нерухливий монтаж в приміщенні та поза його межами, (допустимо також незахищений), прокладання у землі(допустимо також незахищений).

Особливі характеристики: не підтримує горіння, не димить.

Колір зовнішньої ізоляції: чорний.

У якості апаратів захисту електроустановок застосовуються плавкі запобіжники або автоматичні вимикачі із вбудованими тепловими і електромагнітними розмикачами [11].

Теплові розмикачі захищають двигун від перевантажень, електромагнітні розмикачі забезпечують захист від струмів короткого замикання)

Вибір автоматичного вимикача роблять по номінальному струму, а настроювання струму установки відповідного розмикача роблять по припустимих струмах перевантаження ($1,2I_n$) і короткого замикання ($2I_n$).

Обираємо теплове реле перевантаження **ZB12-12 Eaton** (рис.2.10 а), з наступними технічними характеристиками:

- номінальна напруга 380 В; номінальний струм 12 А.



а



б

Рис.2.10. Зовнішній вигляд теплового реле та пускача для електроприводу

Для запуску електроприводу обраний пускач контактору **Eaton (Moeller) DIL-DILM17-10 2.4**, показаний на рис. рис.2.10 б.

Продукція даного виробника протестована у навчальній лабораторії кафедри електромеханіки та мехатроніки ОНТУ протягом 2015-2024 р.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11

Арк.

35

Формат А4

Узагальнення результатів розділу 2.

Виходячи з потреб технологічного процесу оцінені пікові значення розходу води, оцінена максимальна висота під'йому, розрахована потужність насосу що може забезпечити відповідні параметри. Виходячи з цих потреб найближчим за можливостями є насос КМ 20/30, який за паспортними даними забезпечує подачу $25 \text{ м}^3/\text{год}$. Цей насос задовольняє завдання проекту і за другим параметром максимальна висота підйому води порядку 25 м.

За цими даними розрахована потужність насосу 4,04 кВт, у відповідності обраний привідний двигун серії АІР100L2, який за паспортними даними має потужність 5.5 кВт.

Таке співвідношення потужностей відповідає стандартній кінематичній схемі приводу Кінематична схема вентилятора представлена на рисунку 2.8. Позначення рис.2.8 визначають електричний двигун М (електричну машину), робоче колесо вентилятора РО (робочий орган електропривода). Двигун з'єднаний з робочим колесом без варіаторів швидкості пружною муфтою.

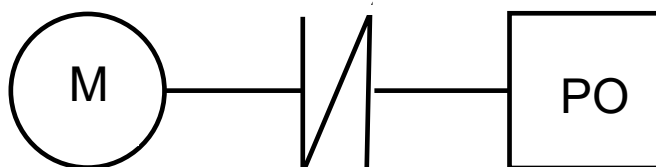


Рис. 2.11. Кінематична схема вентилятора

За паспортними даними побудована механічна характеристика двигуна та робоча характеристика насосу. Точка перетину цих кривих є робочою точкою електроприводу, і регулювання положення робочої точки (її координати робоча частота даного режиму і електромагнітний момент на валу двигуна) можливо при використанні перетворювача частоти з скалярним керуванням електроприводу. При зміні зменшенні напруги живлення пропорційно частота і робоча точка електропривода ковзає донизу по робочій характеристиці вентилятору. У відповідності до потужності і номінального струму двигуна обраний перетворювач частоти з серії ACS310-03E.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

3 Імітаційне моделювання електроприводу в середовищі *Matlab/Simulink*

Інструментом для створення імітаційних моделей у задачах науково-технічних галузей є пакет програмного забезпечення Simulink, інтегрований з Matlab. Simulink – це пакет програм візуального програмування. Кожному об’єкту технічної задачі відповідає піктограма. Перетягування цієї піктограми на робочій простір активує математичну модель цього об’єкту (набір підпрограм вводу початкових значень, розрахунків за відповідними формулами, розв’язання лінійних, диференціальних, або інтегро-диференціальних рівнянь відповідними методами, підготовки виводу результату у зручному форматі).

3.1. Параметри піктограми для моделювання електроприводу.

Створення моделі потребує ввести відповідні параметри у поля, які розгортаються при натисканні на піктограми. Так для асинхронного двигуна мають бути введені параметри обмоток статора і ротора, номінальна потужність і напруга, момент інерції двигуна.

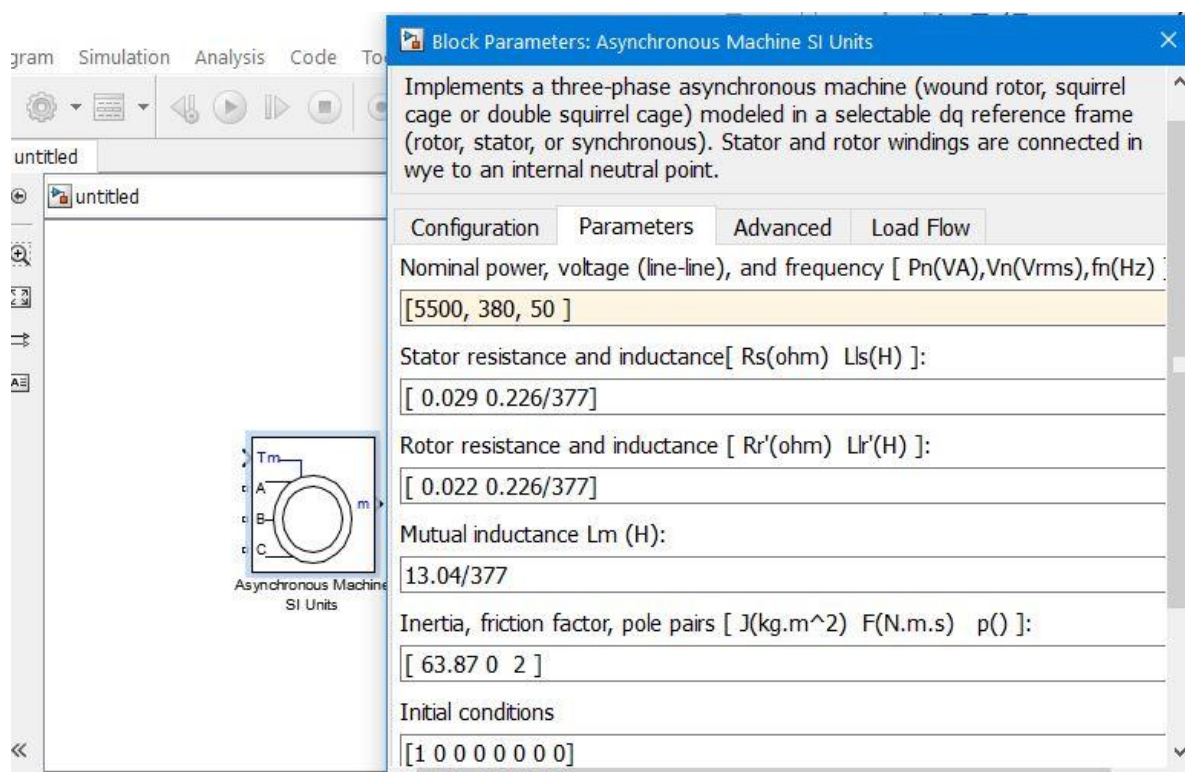


Рис. 3.1 Приклад заповнення піктограми Asynchronous Machine – трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором

Значення параметрів, що заносили у відповідні поля таблиці (рис.3.1) розраховували за формулами рекомендованими у підручниках [13,14] для асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором:

активний опір фази обмотки ротора

$$R_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{(P_H + \Pi_{\text{мех}})}{I_H^2 \cdot \frac{1 - S_H}{S_H}} ; \quad (3.1)$$

активний опір фази обмотки статора

$$R_s = \frac{U \cos \varphi \cdot (1 - \eta)}{I_H} - C^2 R_r - \frac{\Pi_{\text{мех}}}{3 \cdot I_H^2} \quad (3.2)$$

індуктивність фази обмотки статора:

$$L_s = \frac{U}{2\pi f_1 I_H \sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2\pi f_1 M_{\text{макс}}}{pU} \cdot \frac{S_H}{S_{\text{кр}}}} \quad (3.3)$$

Приведена індуктивність розсіювання в обмотці ротора:

$$L_{sp} = L_{rp} = \frac{U}{4\pi f_1 (1 + C^2) k_I I_H} \quad (3.4)$$

індуктивність в контурі намагнічування.

$$L_m = L - L_{sp} \quad (3.5)$$

Як видно, у виразах (3.1-3.5) використовуються паспортні дані двигуна, або такі, що розраховані з паспортних даних.

Таблиця 3.1. Параметри для розробки електронної моделі АД

P_H	Номінальна потужність	5,5 кВт
U	Напруга мережі живлення	380 В
I_H	Лінійний струм фази	12,3 А
f_1	Частота	50 Гц
$\eta'_{\text{ном}}$	ККД	0,87
$\cos \varphi'$	Коефіцієнт потужності	0,86
S_H	Номінальне значення ковзання	0,036

$\Pi_{\text{мех}}$	Механічні втрати	$(0,01 \div 0,05) P_H$
$M_{\text{макс}}$	Максимальний обертовий момент	43,2 Н·м
k_I	Коефіцієнт пускового струму	7,5
C	Коефіцієнт приведення	1,01 ÷ 1,05

Активний опір фази обмотки ротора

Розраховуємо $\Pi_{\text{мех}} = 0,03 \cdot P_H = 5500 \cdot 0,03 \text{ Вт} = 275 \text{ Вт}$

$$R_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{(P_H + \Pi_{\text{мех}})}{I_H^2 \cdot \frac{1 - S_H}{S_H}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{5775}{147,01 \cdot \frac{1 - 0,05}{0,05}} = \frac{29,04}{0,94} \cdot 0,050 = 0,689 \text{ Ом}$$

Активний опір фази обмотки статора

$$R_s = \frac{U \cos \varphi \cdot (1 - \eta)}{I_H} - C^2 R_r - \frac{\Pi_{\text{мех}}}{3 \cdot I_H^2}$$

$$R_s = \frac{380 \cdot 0,86 \cdot (1 - 0,87)}{12,3} - C^2 \cdot 0,689 - \frac{275}{3 \cdot 147,01} = 3,197 \text{ Ом}$$

Індуктивність фази обмотки статора:

$$L_s = \frac{U}{2\pi f_1 I_H \sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2\pi f_1 M_{\text{макс}}}{pU} \cdot \frac{S_H}{S_{\text{кр}}}}$$

Використовуємо $S_{\text{кр}} = 0,312$, $S_H = 0,066$ (розраховано в п.2.2.4)

$$L_s = \frac{380}{314 \cdot 12,3 \sqrt{0,294} - \frac{2}{3} \cdot \frac{314 \cdot 43,92}{2 \cdot 380} \cdot 0,192} = 0,226 \text{ Гн}$$

Приведена індуктивність розсіювання в обмотці ротора

$$L_{sp} = L_{rp} = \frac{U}{4\pi f_1 (1 + C^2) k_I I_H}$$

$$L_{sp} = L_{rp} = \frac{380}{628(1 + 1,08) \cdot 7 \cdot 12,3} = 0,0083 \text{ Гн}$$

Індуктивність в контурі намагнічування

$$L_m = L_s - L_{sp} =$$

$$L_m = 0,423 - 0,0083 = 0,4147 \text{ Гн}$$

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Слід зазначити, що у бібліотеці *Simulink* є набір стандартних двигунів так що можна підібрати достатньо близький за параметрами до використаного.

3.2. Моделювання прямого пуску. Першою використаною моделлю є модель для дослідження параметрів прямого пуску, показана на рис.

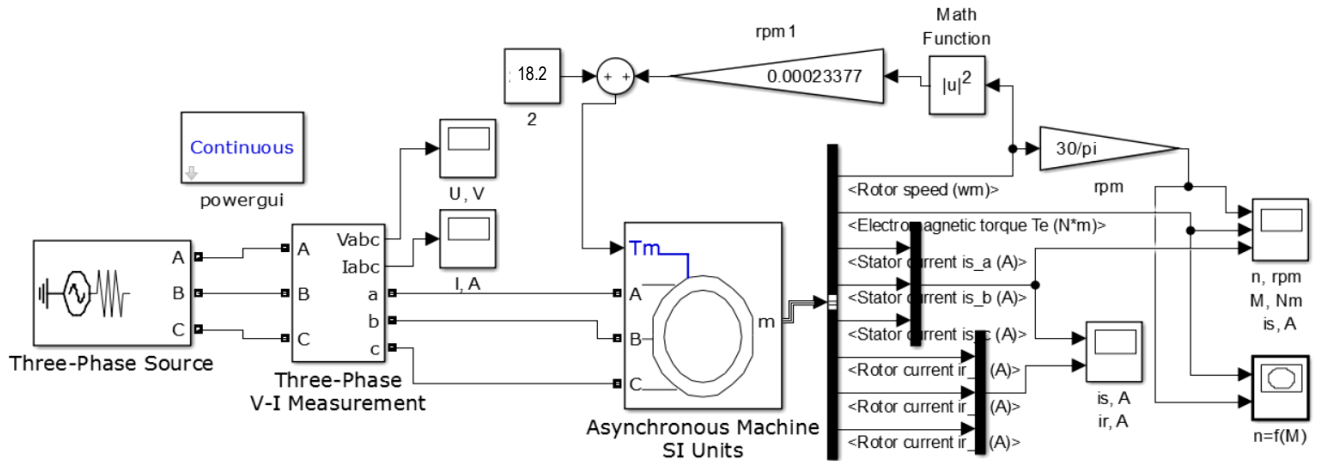


Рис.3.2. Модель установки для дослідження прямого пуску

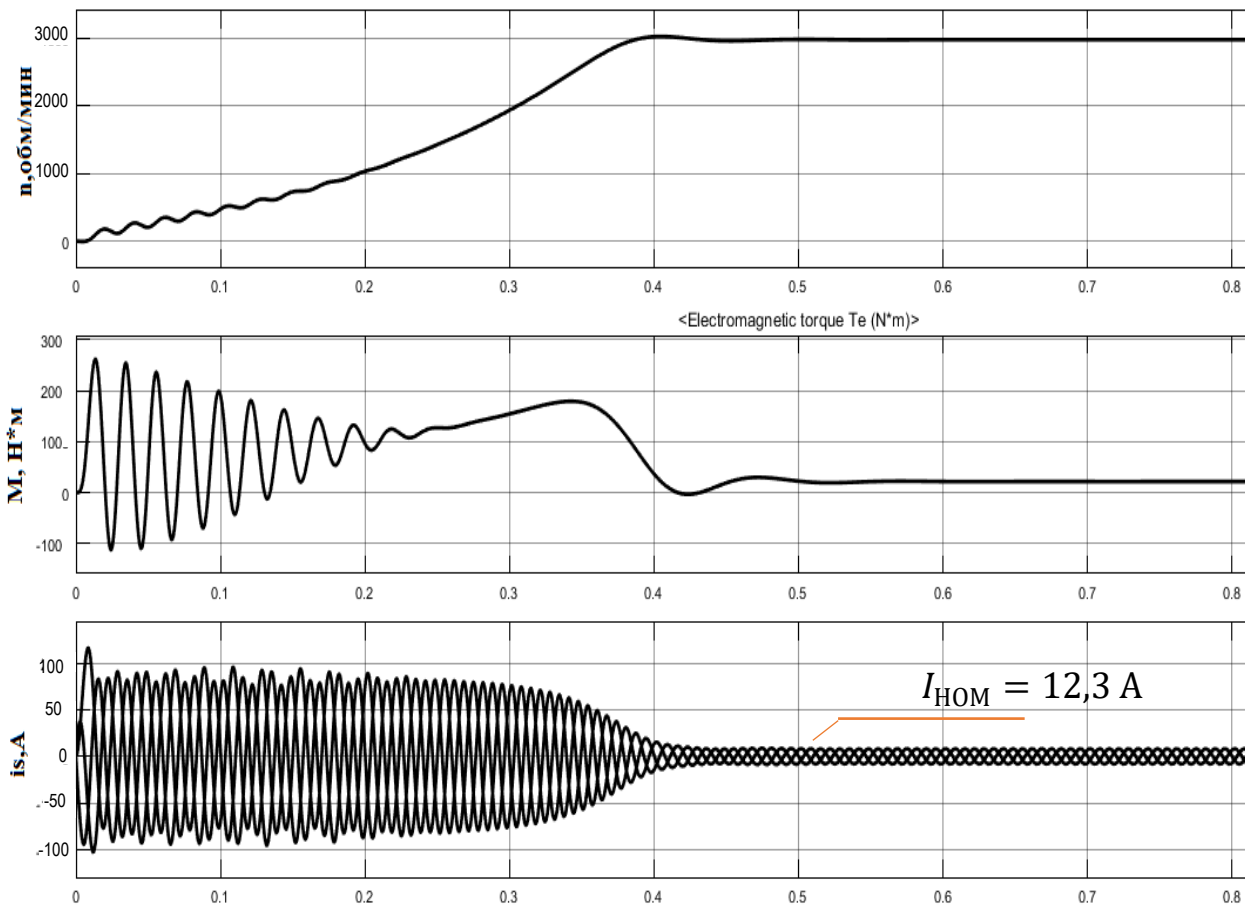


Рис.3.3. Осцилограми розгона двигуна при прямому пуску двигуна: частоти обертання, електромагнітного моменту та струмів статора

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Результати моделювання, представлені на рис.3.3, є підтвердженням того, що необхідно вирішувати проблему з піковими значеннями напруги і моменту у перехідних процесах при прямому пуску. Для її розв'язання у коло живлення електроприводу ввімкнутий перетворювач частоти, що забезпечує широтно-імпульсну модуляцію напруги живлення.

3.3. Моделювання електроприводу з перетворювачем частоти, що забезпечує скалярне регулювання.

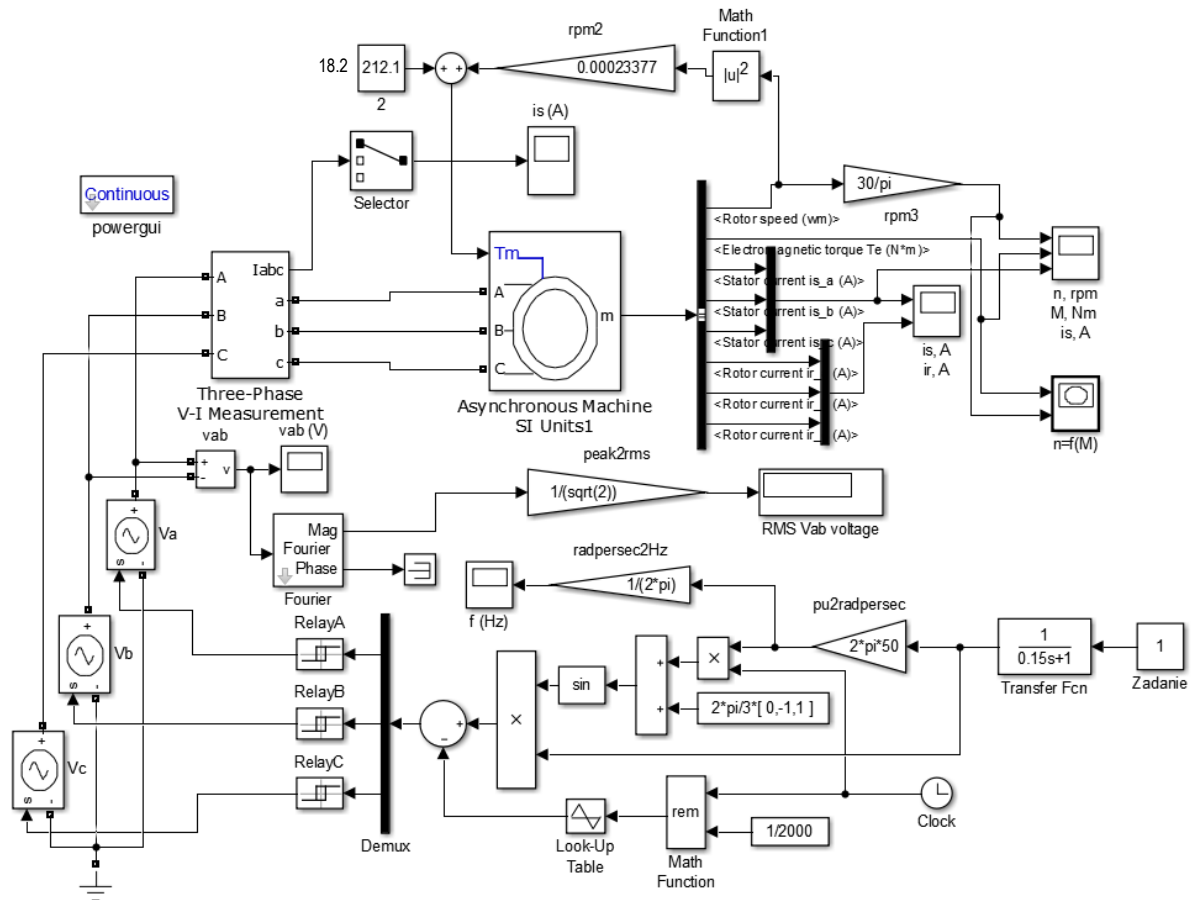


Рис.3.4. Модель установки для дослідження ШІМ-модуляції напруги живлення електроприводу

Три однофазних джерела синусоїдної напруги з'єднані у моделі як обмотки трифазного генератора зіркою з нульовим проводом. На вхід імітуючого трифазного генератора подається розподілений сигнал у вигляді трьох послідовностей П-імпульсів змінної частоти

					<i>КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

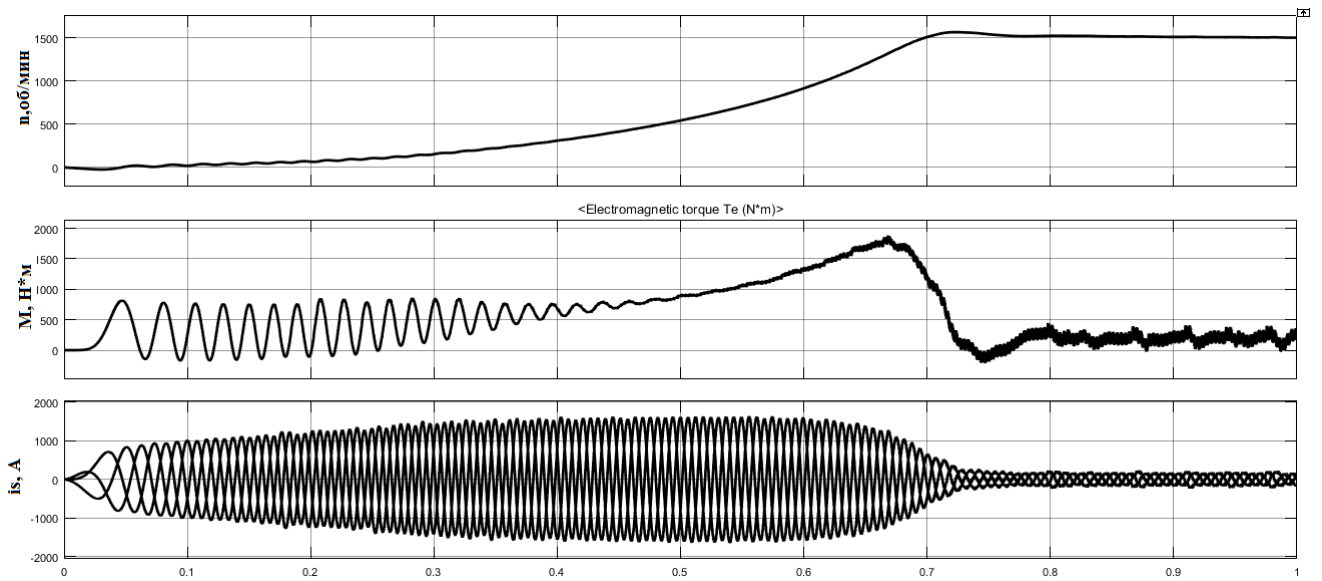


Рис.3.5. Осцилограми розгона двигуна при частоті $f_1=50$ Гц для номінального режиму роботи при використанні ПЧ

Порівняємо результати осцилограм рис.3.3 і 3.5. Видно, що для перехідного процесу прямого пуску електродвигуна характерним є таке.

При номінальному струмі $I_{НОМ} = 12,3$ А перевищує 100 А , і це той короткочасний імпульс струму, що може вивести з ладу обмотку статора генератора, створити недопустиме перевантаження лінії живлення по струму, таким чином вивести з ладу лінії електропередач, і навіть трифазний трансформатор даного відгалуження мережі. При номінальному моменту на валу двигуна 18,2 Н·м у перехідному процесі пуску двигуна сягає 250 Н·м .

Перехідний процес виходу на номінальну частоту 3000 об/хвил триває приблизно 0,4 с, і за цей час пусковий струм спадає до номінального значення, і механічний момент спадає від імпульсного до номінального значення за той самий час.

Якщо частота мережі залишається незмінною, тобто на частоті 50 Гц, ми бачимо значні переваги при підключенні перетворювача частоти. Час виходу параметрів двигуна на свої номінальні значення збільшується у декілька разів, при цьому пікові значення в початковий момент пуску відсутні.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11

Арк.

42

Підключення перетворювача частоти має ще одне важливе значення.

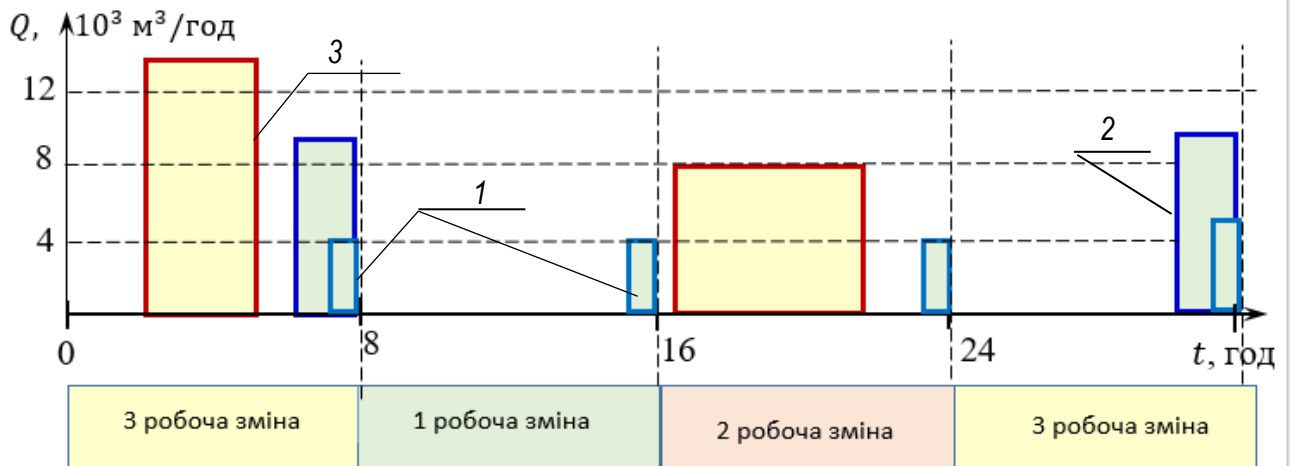


Рис.3.6. Графік добового розходу води підприємством Санітарна обробка виробничого приміщення (1), технологічного обладнання (2) підготовка води до використання у технологічному процесі (3)

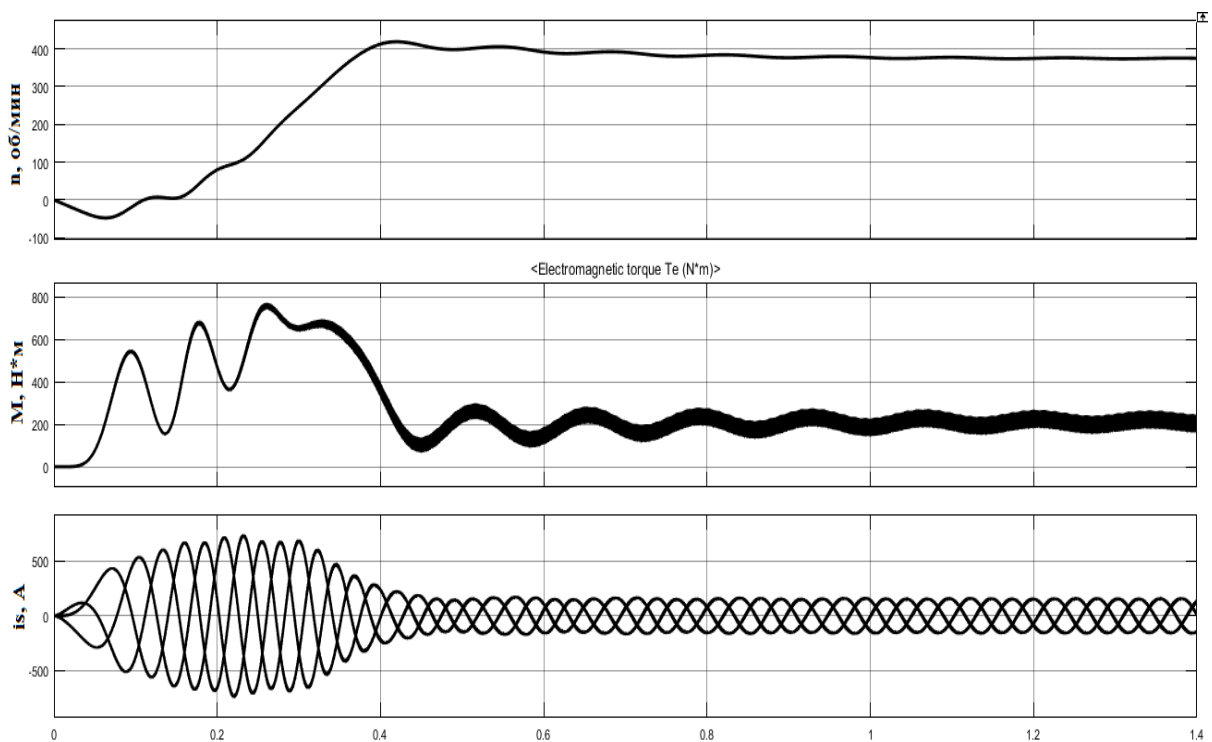


Рис.3.7. Осцилограми розгона двигуна з частотним управлінням при частоті $f_2 = 15$ Гц для режиму роботи з мінімальною швидкістю 375 об/хв

Графік почасової зміни розходу води (рис.3.6) регламентується графіком технологічного процесу. ПЧ дозволяє зміною частоти обертання робочого колеса плавно регулювати параметри системи водопостачання у відповідності до графіку добового споживання.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11

Арк.

43

Формат А4

4. Охорона праці та техніка електробезпеки при монтажних роботах та експлуатації електрообладнання насосної установки

4.1. Організація монтажних робіт

Структурна схема електроприводу для головного насоса насосної станції водопостачання підприємства показана на рис.4.1.

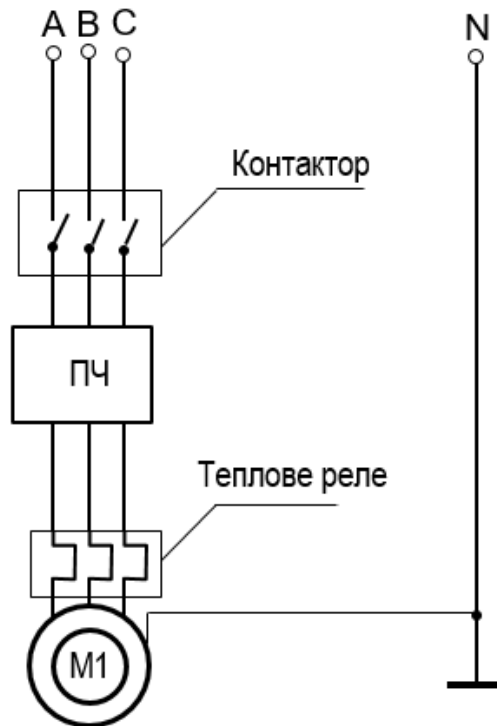


Рис.4.1. Структурна схема електроприводу для головного насоса насосної станції водопостачання підприємства

Привід для вентилятору забезпечується електродвигуном М1. Для захисту від перевантажень двигун захищений тепловим реле. Перетворювач частоти монтується у відповідності до рекомендацій виробника на відстані від насосу не більше ніж 10 м.

Заходи безпеки та організація охорони праці при виконанні монтажних і ремонтних робіт, а також впродовж експлуатації електроприводу вентиляційного обладнання регламентовано «Законом про працю» [15,16] та прив'язаними до нього правилами та інструкціями, серед них

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11

Арк.

44

Формат А4

«Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів» (ПТЕ);
«Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів»
«(ПТБ);
«Правил улаштування електроустановок споживачів" (ПУЕ).

При виконанні усіх видів робіт та під час експлуатації повинні виконуватися організаційно - технічні заходи, що забезпечують безпечні умови праці, а саме:

- наявність і виконання виробничих інструкцій по експлуатації;
- наявність інструкцій з безпеки праці на робочих місцях;
- наявність інструкцій щодо виконання робіт підвищеної небезпеки за нарядами (нарядами - допусками).

Монтажні роботи виконуються у спеціалізованому приміщенні насосної станції, тобто в умовах підвищеної вологості. Початку робіт з монтажу передуює затвердження документації. Найважливішим документом, що є основою організації монтажних робіт, є «Правила улаштування електроустановок споживачів" (ПУЕ), у відповідності до якого розробляють алгоритм монтажу електричного обладнання та устаткування [15].

Порядок виконання монтажних робіт передбачає таку послідовність дій

- 1 – монтаж насосу, з'єднання з водопровідним обладнанням
- 2 – монтаж електродвигуна та забезпечення його захисту від підвищеної вологості повітря
- 3 – облаштування монтажної шафи або монтажної панелі, в залежності від умов розташування електричного обладнання (вологість, температура, хімічна та механічна забрудненість повітря) для перетворювача частоти
- 4 – механічне закріплення перетворювача частоти із забезпеченням доступу до входів підключення кабелю живлення і виходу на клеми електродвигуна, можливості облаштування кіл управління.
- 5 – поетапна перевірка працеспроможності
 - А) силових контакторів та з'єднувальних кабелів високої напруги,

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Б) електродвигуна та елементів захисту;

В) лінії живлення низької напруги для системи керування електроприводом;

Г) сенсорів струму обмоток двигуна та швидкості обертання ротору

6 – запуск установки

7 – випробування установки

8 – здача установки в експлуатацію та оформлення відповідного акту

На рис.4.2 показаний результат монтажу елементів електроприводу у монтажній шафі з урахуванням високої вологості приміщення насосної станції

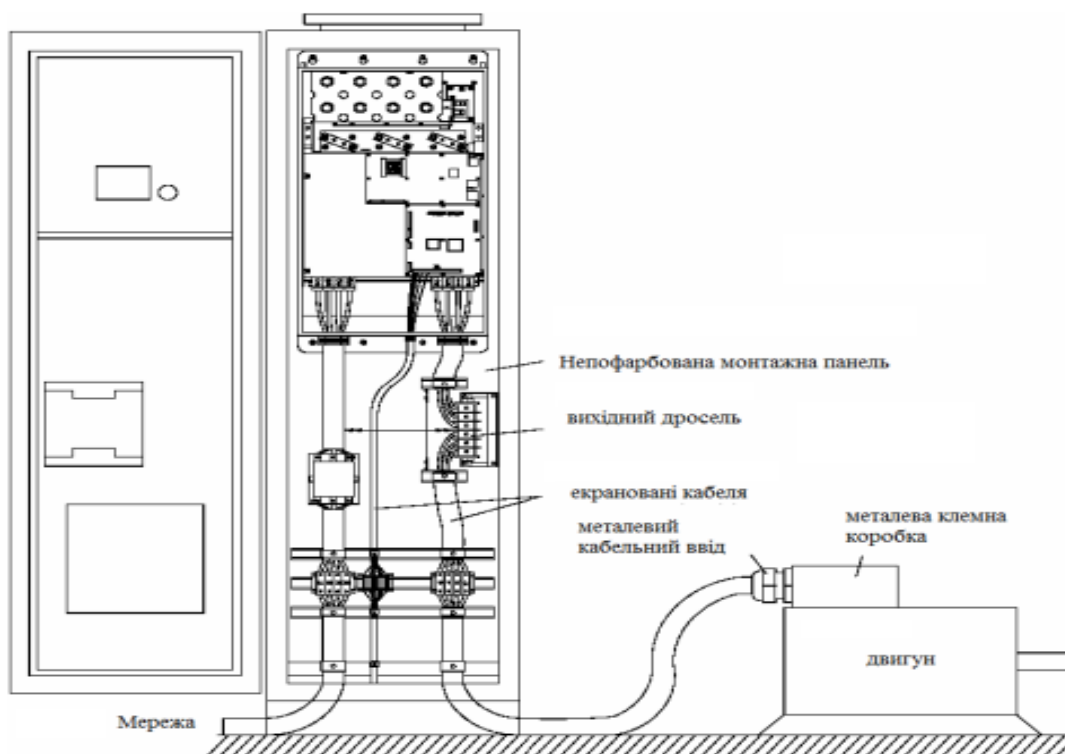


Рис.4.2. Монтаж перетворювача частоти у монтажній шафі [10]

Відстань від двигуна до перетворювача частоти не повинна перевищувати 10 м, тому водогінну частину насосної станції доцільно відокремити від зони розташування монтажної шафи, робочого місця оператора та систем електронної візуалізації параметрів роботи електроприводу перегородкою з вікном для дистанційного контролю за тиском води у водогінному каналі.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11

Арк.

46

4.2. Електробезпека обладнання та персоналу в умовах підвищеної вологості.

Для захисту працюючих від небезпеки ураження електричним струмом при переході напруги на металеві неструмоведучих частини (наприклад, при короткому замиканні), нормально не перебувають під напругою, застосовують захисне заземлення. Захисне заземлення - примусове з'єднання неструмоведучих частин електрообладнання, які можуть випадково виявитися під напругою, із заземлюючим пристроєм.

Захисне заземлення являє собою систему металевих заземлювачів, поміщених в землю і електрично з'єднаних спеціальними проводами з металевими частинами електрообладнання, нормально не перебувають під напругою.

Захисне заземлення ефективно захищає людину від небезпеки ураження електричним струмом в мережах напруги до 1000 В з ізольованою нейтраллю і в мережах напругою вище 1000 В - з будь-яким режимом нейтралі.

4.2.1. Влаштування заземлення

Заземлення влаштовано відповідно до вимог ПУЕ-2009, СНиП-Ш-33-76 та інструкції з улаштування мереж заземлення та занулення в електроустановках (СН 102-76).

Заземлення слід виконувати:

а) при напрузі змінного струму 380 В і вище та постійного струму 440 В і вище в усіх електроустановках

б) при напрузі змінного струму вище 42 В і постійного струму вище 110 В тільки в електроустановках, розміщених у приміщеннях з підвищеною небезпекою і в особливо небезпечних, а також в зовнішніх установках;

в) при будь-якій напрузі змінного струму і постійного струму в вибухонебезпечних установках;

Заземлювачі можуть бути використані як природні, так і штучні. Причому, якщо природні заземлювачі мають опір розтіканню, що задовольняють вимогам ПУЕ-2009, то пристрій штучним заземлювачами не потрібно.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як природні заземлювачі можуть бути використані:

а) прокладені в землі водопровідні та інші металеві трубопроводи, за винятком трубопроводів горючих і легкозаймистих рідин, горючих або вибухових газів і сумішей;

б) обсадні труби, металеві та залізобетонні конструкції будівель і споруд, що знаходяться в безпосередньому зіткненні з землею;

в) свинцеві оболонки кабелів, прокладених в землі і т.д.

Як штучні заземлювачі найчастіше застосовують кутову сталь 60x60 мм, сталеві труби діаметром 35-60 мм і сталеві шини перерізом не менше 100 мм².

Стрижні довжиною 2,5 ... 3м занурюються (забиваються) в ґрунт вертикально в спеціально підготовленої траншеї

Вертикальні заземлювачі з'єднуються сталевією смугою, яка приварюється до кожного заземлювача.

По розташуванню заземлювачів заземлення ділять на виносне і контурне. При виносній системі заземлення заземлювачі розташовуються на деякій відстані від обладнання, що заземлюється. Тому заземлене обладнання знаходиться поза полем розтікання струму і людина, торкаючись його, виявиться під повним напругою відносно землі.

4.2.2. Нормування параметрів захисного заземлення

Захисне заземлення призначене для забезпечення безпеки людини при дотику до неструмоведучих частин обладнання, випадково опинилися під напругою, і при впливі напруги кроку. Ці величини не повинні перевершувати тривало допустимих

У ПУЕ нормуються опору заземлення в залежності від напруги електроустановок.

В електроустановках напругою до 1000 В опір заземлюючого пристрою повинен бути не вище 4 Ом; якщо ж сумарна потужність джерел не перевищує 100 кВ А, опір заземлення повинен бути не більше 10 Ом.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо заземлюючих пристроїв використовується одночасно для електроустановок напругою до 1000 В і понад 1000 В, то але не вище норми електроустановки (4 або 10 Ом). В електроустановках зі струмами замикання 500 А, має бути 0,5 Ом.

4.3. Організація робочого місця оператора. Для обслуговування електромеханічного обладнання насосної станції підприємства під час її роботи у штатному режимі має бути організовано чергування оператора-електрика, який брав участь у технологічному процесі по монтажу електромеханічного обладнання.

Для операторів, що обслуговують і спостерігають за роботою електрообладнання насосної станції, повинні бути забезпечені зручні робочі місця, що не стискають їхніх дій під час виконання роботи. На робочих місцях повинна бути передбачена площа, на якій розміщаються необхідні пристрої для керування й контролю над ходом технологічного процесу, а також засоби сигналізації й оповіщення про аварійні ситуації.

Робоче місце оператора має бути облаштоване на відстані 3-5 м від працюючого агрегату; не перешкоджати вільному доступу до систем спостереження за номінальними параметрами роботи агрегату, систем візуального контролю за автоматичними сигналами про критичні або аварійні режими роботи, систем аварійного відключення агрегату.

Робоче місце облаштовується комплектною апаратурою, яка забезпечує контроль за нормативними параметрами, за станом ліній керування й сигналізації. Робоче місце оператора має бути облаштоване системою вентиляції, на основі нормативів, передбачених санітарними нормами (температура, вологість повітря), а також робочим столом і кріслом з регульованими нахилом спинки й висотою сидіння. Ергономічні вимоги при виконанні робіт сидячи й коштуючи наведено в ГОСТ 12.2.032-78, ГОСТ 12.2.033-78.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

4.4. Вимоги безпеки при експлуатації й ремонті головного насосу насосної станції. Інструкція з техніки безпеки й охороні праці складається на підставі правил і положень, затверджених відповідним міністерством. Усі інструкції підписуються начальником цеху й затверджуються головним інженером. У кожній інструкції приводиться перелік тих посадових осіб, для яких знання даної інструкції й здача по ній перевірочних іспитів є обов'язковими. Загальні вимоги:

- експлуатацію електроприводу насосу слід здійснювати згідно з вимогами правил по охороні праці при експлуатації електроустановок
- персонал, що обслуговує електромеханічне обладнання насосу повинен мати відповідну групу по електробезпечності
- при експлуатації електрообладнання насосного агрегату оператор запов'язаний
 - а. проводити огляди й ремонт устаткування у встановлений термін;
 - в. підтримувати належні санітарний стан у приміщенні;
 - г. вести систематичний облік відпрацьованих годин агрегатами й робити записи в журналах експлуатації або на комп'ютерних носіях;
 - чергові працівники повинні негайно зупинити несправний агрегат
 - забороняється знімати запобіжні кожухи й інш. захисні пристрої під час роботи насосного агрегату.
 - при змінній роботі працівник може закінчити роботу не раніше того, як змінник прийме від нього обслуговування електромеханічним обладнанням.
 - приймання-здача зміни черговими працівниками здійснюється за графіком, затвердженому керівником, відповідальним за експлуатацію обладнання. Зміни в графіку дозволяє керівник, що затверджував графік.

Для забезпечення безперервного водопостачання на виробництві головний насос і електропривод до нього дублюються, обидва насоси і їх електроприводи підлягають щоденним профілактичним оглядам.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок капітальних вкладень

У даній роботі представлена розроблена система керування електроприводу головного насосу, що є складовою системи водопостачання дріжджового виробництва. Для подальшого впровадження результатів дипломного проектування необхідно визначити економічну доцільності та термін окупності спроектованого варіанту електроприводу. Розраховуємо капітальні витрати на електроустаткування електроприводу асинхронного двигуна з перетворювачем частоти насосу для водопостачання.

В таблиці 5.1 приведений розрахунок капітальних вкладень на модернізацію системи керування електроприводом головного насосу.

Таблиця 5.1 Порівняння параметрів капітальних вкладень К

Найменування обладнання	Кошторисна вартість, грн. (у цінах 2024 р)	
	Базовий вар	Новий вар
Система керування РКС-АД	21800	
Насос КМ 20 /30	8790	8790
Двигун	11890	11890
Перетворювач частоти		27288
Кабелі	2500	2500
апарати захисту	6200	6200
сенсори та ін	1400	1400
Всього:	52280	58068
Витрати на транспортування (7 %)	3660	4406
Монтаж та налагодження (10%)	5228	5807
Всього капітальних вкладень К	61468	62793

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11

Арк.

51

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Під експлуатаційними витратами E розуміють витрати, що забезпечують функціонування технологічного обладнання в номінальному режимі під час його експлуатації в розрахунку на рік.

Експлуатаційні витрати E складаються декількох стандартних позицій, перелік позицій : а) амортизаційні відрахування E_A ; б) Заробітна плата $E_{ЗП}$ обслуговуючого персоналу (основна, додаткова, нарахування на заробітну плату); в) Витрати на силову електроенергію E_E ; г) Витрати на поточний ремонт $E_{ПР}$; д) Інші витрати $E_{ін}$.

Додаємо усі складові і визначаємо експлуатаційні витрати

$$E = E_A + E_{ЗП} + E_E + E_{ПР} + E_{ін} \quad (5.1)$$

Кожну складову, що входить до виразу (5.1), розраховуємо окремо за стандартними алгоритмами.

5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річні амортизаційні відрахування для нового та базового варіантів становлять (норма амортизації 10 % в рік):

Базовий вар. $E_{A_Б} = 61468 \cdot 10 / 100 = 6147$ (грн)

Новий вар. $E_{A_Н} = 62793 \cdot 10 / 100 = 7279$ (грн)

5.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Згідно Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд четвертий і вище, група допуску по електробезпеці третя і вище.

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховуємо за наступною формулою:

$$E_З = E_{З0} + E_{Зд}, \quad (5.2)$$

$E_{З0}$ - основна заробітна плата по тарифу

$E_{Зд}$ - додаткова заробітна плата

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основну заробітну плату по тарифу розраховуємо за формулою

$$E_{30} = N \cdot T1 \cdot K \cdot \Phi \cdot K_C \quad (5.3)$$

де N – кількість робітників, що обслуговують привод ($N_H = 2$ $N_B = 4$)

$T1$ – годинна тарифна ставка робітника 1-го розряду, грн/год;

K – тарифний коефіцієнт ($K_B = 1.36$, $K_H = 1.54$);

$\Phi_{\text{ЕФ}}$ – ефективний фонд часу на обслуговування вентилятора (приймаємо рівним 365 годин на рік);

k_C – коефіцієнт співвідношень, встановлений генеральною угодою між профспілками і урядом ($k_C = 1$);

$T1 = 42,26$ грн/год за галузевими тарифними ставками 2024 року.

З формули (5.3) розрахуємо E_{30}

$$E_{30_B} = 4 \cdot 42,26 \cdot 1.36 \cdot 365 \cdot 1 = 83990 \text{ (грн).}$$

$$E_{30_H} = 2 \cdot 42,26 \cdot 1.54 \cdot 365 \cdot 1 = 47508 \text{ (грн).}$$

Додаткова заробітна плата $E_{3д}$ становить 10% від основної заробітної плати.

$$E_{3д_B} = 83990 \cdot 10 / 100 = 8399 \text{ (грн).}$$

$$E_{3д_H} = 47508 \cdot 10 / 100 = 4751 \text{ (грн).}$$

Разом витрати на заробітну плату розраховуємо додаванням

Базовий вар. $E_{3_B} = (83990 + 8399) \text{ грн} = 92389 \text{ грн}$

Новий вар. $E_{3_H} = (47508 + 4751) \text{ грн} = 52259 \text{ грн}$

5.2.3. Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію знаходимо за формулою:

$$E_E = \frac{P}{\eta \cdot \cos\varphi} \cdot B \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_{\text{ВМ}} \cdot K_3 \quad (5.4)$$

де B – вартість електроенергії ($B = 7.0$ грн/(кВт·год) за цінами 2024 р.);

P – установлена потужність (5,5 кВт);

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

η – ККД установки;

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу роботи в рік;

$K_{\text{вм}}$ – коефіцієнт ввімкнення (використання за часом);

K_3 – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю).

Коефіцієнт корисної дії обчислено як добуток ККД двигуна і перетворювача частоти. Для базового варіанту ККД = 0.82, для нового варіанту ККД = 0.95.

Коефіцієнт ввімкнення приймаємо рівним 0.8.

Ефективний фонд робочого часу для двох варіантів становить:

$$\Phi_{\text{еф}} = 365 \cdot 8 \cdot 95 / 100 = 2774 (\text{год}).$$

Отже, підставляємо визначені значення у вираз (5.4) і маємо

$$E_{\text{Е}_B} = \frac{5,5}{0,87} \cdot 7 \cdot 2774 \cdot 0,8 \cdot 0,78 = 85104 \text{ (грн/рік)}$$

$$E_{\text{Е}_H} = \frac{5,5}{0,95} \cdot 7 \cdot 2774 \cdot 0,8 \cdot 0,78 = 77943 \text{ (грн/рік)}$$

5.2.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання $E_{\text{ПР}}$

Поточний ремонт електроприводу вентиляторної установки здійснює ремонтна бригада на місці встановлення елементів електроприводу з його відключенням від мережі живлення.

Витрати на проведення ремонтних робіт складаються з витрат на комплектуючі, з витрат на запасні частини та інші елементи, що потребують заміни, з витрат на оплату праці персоналу. Розрахування витрат на оплату праці базується на обґрунтованому та затвердженому графіку планово-попереджувальних ремонтів.

У графіку планово-попереджувальних ремонтів визначено тривалість міжремонтних періодів, трудоміскість кожного виду ремонту

Графік планово-попереджувальних (пп) ремонтів для базового та нового варіантів наведено в таблицях 5.2 та 5.3

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2– Графік ремонтів для базового варіанту

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Тр.-м., чол.год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Система керування ЕП		пп			пп			пп			пп		32
Двигун			пп			пп			пп			пп	52
Кабельна мережа		пп				пп				пп			18
Апарати захисту				пп				пп				пп	12
сенсори			пп				пп				пп		10
Загальна трудомісткість по базовому варіанту Φ_B												124	

Таблиця 5.3– Графік ремонтів для нового варіанту

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Тр.-м., чол.год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Система керування ЕП													
Двигун			пп				пп				пп		48
Кабельна мережа		пп				пп				пп			18
Апарати захисту				пп				пп				пп	12
сенсори			пп				пп				пп		10
Загальна трудомісткість по новому варіанту Φ_H												88	

Ремонтні роботи виконують 2 електромонтери шостого розряду, розраховуємо заробітну плату

$$E_{30} = T1 \cdot K \cdot \Phi \quad (5.3)$$

$T1$ – годинна тарифна ставка робітника 1-го розряду, грн/год;

K – тарифний коефіцієнт ($K_B = 1.36$, $K_H = 1.54$);

Φ – Трудомісткість

$T1 = 42,26$ грн/год за галузевими тарифними ставками 2024 року.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11

Арк.

55

Базовий вар. $E_{з_Б} = 2 \cdot 42 \cdot 1.36 \cdot 124 = 14166$

Новий вар. $E_{з_Н} = 2 \cdot 42 \cdot 1.54 \cdot 88 = 11384$

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту при плануванні приймають рівними 15% від затрат на основну заробітну плату E_M

Базовий вар. $E_{M_Б} = 14166 \cdot 0,15 = 2124$

Новий вар. $E_{M_Н} = 11384 \cdot 0,15 = 1707$

Всього витрати на поточний ремонт обладнання становлять $E_{ПР} = E_{з0} + E_M$

Базовий вар. $E_{ПР_Б} = 14166 + 2124 = 16290$

Новий вар. $E_{ПР_Н} = 11384 + 1707 = 13093$

Таблиця 5.4– Зведення експлуатаційних витрат

Найменування витрат	Кошторисна вартість, грн. (у цінах 2024)	
	Базовий вар.	Новий вар.
Амортизаційні відрахування	6147	7279
Заробітна плата	92389	52259
Витрати на силову електроенергію	85104	77943
Витрати на поточний ремонт	16290	13093
Всього:	183640	150574
Інші витрати (5 %)	9182	7530
Всього експлуатаційних витрат E	192822	158104

Для оцінки економічної ефективності модернізованого електроприводу визначаємо показник відносної економії витрат

$$\delta_E = \frac{E_B - E_H}{E_B} \cdot 100\% = \frac{192822 - 158104}{192822} \cdot 100\% = 18,0\%$$

					<i>КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Висновок. Впровадження системи керування електроприводом насосу ПЧ-АД є економічно виправданим, економія річних експлуатаційних витрат на рівні 18,0%.

5.3. Визначення економічної ефективності проекту

За критерій економічної ефективності нового технічного рішення приймають термін окупності капітальних вкладень T_0 та коефіцієнт економічної ефективності $k_{E_{ef}}$

Розраховуємо термін окупності

$$T_0 = \frac{K_H}{E_B - E_H} = \frac{62793}{192822 - 158104} = \frac{62793}{34718} = 1,8 \text{ р.}$$

Розраховуємо коефіцієнт економічної ефективності $k_{E_{ef}}$

$$k_{E_{ef}} = 1/T_0 = 1/1,8 = 0,556,$$

як видно коефіцієнт економічної ефективності $k_{E_{ef}}$ значно перевищує нормативне значення 0,2.

Тепер визначимо річний економічний ефект в грн:

$$EE = k_{E_{ef}}(K_H - K_B) + (E_B - E_H)$$

$k_{E_{ef}} = 0,2$ норм	$EE = 0,2 \cdot 1307 + 34718 = 34979$
$k_{E_{ef}} = 0,437$ проект	$EE = 0,437 \cdot 1307 + 347184 = 34755$ грн

Висновок. Впровадження системи керування електроприводом вентилятора ПЧ-АД є економічно виправданим:

- економія річних експлуатаційних витрат складає 15,3%;
- термін окупності капітальних вкладень 2,2 роки, відповідно, коефіцієнт економічної ефективності дорівнює 0,437, тобто вдвічі перевищує нормативне значення (0,2)
- річний економічний ефект 43 тис.415 грн

					<i>КРБ.EMтаМ.1.797-03.1.11</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Висновки з розділу 5. Аналізуючи отримані результати, а саме: приведені витрати, - можна сказати про те, що оптимальним варіантом для проєктованій електромеханічної системи є обраний двигун, оскільки, перш за все, є значна економія електроенергії; знижені щорічні експлуатаційні витрати (у зв'язку з економною витратою електроенергії і використанням якісного дорогого устаткування витрати на енергію і ремонт значно нижчі).

Узагальнимо фактори, що забезпечують економічний ефект від впровадження станцій управління, оснащених перетворювачами частоти, пристроями плавного пуску, а також об'єднання станцій управління в єдину систему АСУ ТП.

1. Пряма економія від зниження споживання електроенергії при регулюванні продуктивності насосних агрегатів (для різних об'єктів від 25 до 50%).
2. Пряма економія за рахунок зниження непродуктивних витоків води при оптимізації тиску в напірному трубопроводі (не менше 25 - 30% від загального обсягу витоків).
3. Економія фонду заробітної плати скорочуваного чергового персоналу.
4. Різкого зниження аварійності на мережах (не менше ніж в 5 - 10 разів).
5. Збільшення не менше ніж в 3 рази ресурсу і міжремонтних термінів насосів, електродвигунів, комутаційного обладнання.
6. Зниження витрат на електричне опалення на об'єктах, побутове забезпечення чергового персоналу.
7. Різкого збільшення надійності системи в цілому, за рахунок усунення «людського фактора» і автоматичної діагностики системою всіх її елементів і своєчасного усунення можливих аварійних ситуацій .

					<i>КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

ВИСНОВКИ

1. Поставлена в роботі мета підвищення енергоефективності електроприводу головного насосу водопостачання підприємства дріжджового виробництва досягнута з використанням системи керування електроприводу перетворювач частоти – асинхронний двигун.
2. В процесі виконання роботи розроблена схема електроприводу, розрахована необхідна потужність головного насосу, що забезпечує водопостачання підприємства дріжджового виробництва з заданими параметрами:
тривалість циклу споживання 24-32 години; напір 30 м,
середній розхід 50 м³/доб, піковий розхід 25 м³/годину.
3. Розраховані номінальні параметри електродвигуна, визначені номінальні параметри необхідного перетворювача частоти. Його використання забезпечує зменшення пікового значення струму у перехідному процесі, а також зменшує початковий імпульс механічного навантаження на лопасті в момент включення, внаслідок цього зменшується навантаження на електромережу підприємства та на лінії живлення, а також подовжується термін безаварійної роботи насосу.
4. З використанням засобів імітаційного моделювання у програмі Matlab/ Simulink проведено моделювання перехідних процесів при прямому пуску асинхронного двигуна та при подачі напруги на обмотки статора, керованої перетворювачем частоти з використанням технології широтно-імпульсної модуляції. Теоретично підтверджено очікуваний результат
5. Сформульовані вимоги щодо правил техніки безпеки під час монтажних робіт, експлуатації електроприводу в номінальному режимі та при проведенні планово-профілактичних ремонтів.
6. Економічні розрахунки показали, що впровадження системи керування електроприводом насосу ПЧ-АД є економічно обґрунтованим: економія річних експлуатаційних витрат складає 15,3%; річний економічний ефект складає 43 тис.415 грн; термін окупності капітальних вкладень 1,8 року.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Перелік використаних джерел

1. Виробництво дріжджів, сировина і основні стадії технологічного процесу.
Режим доступу <https://www.systopt.com.ua/article-vyrobnyctvo-drizhdzhiv-syrovyna-i-osnovni-stadiyi-tehnologichnogo-procesu>
2. Клещев Р.Ф. Загальна промислова біотехнологія: Технології бродильних виробництв: Навч. посіб. – Харків: НТУ «ХП», 2007. – 200 с.
Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/79662725.pdf>
3. Панфілов В.А., Груданов В.Я. Машина і апарати харчових виробництв: Підручник. – Мінськ, 2007. – 317с.
4. Срібнюк М.М. Насоси і насосні установки: Підручник. – Вид. КНУ. – 2019р., 312 стор. ISBN: 978-611-010924-6
Режим доступу <https://inpleno.com.ua/ru/product/314822-Nasosi-i-nasosni-ustanovki-Navchalniy-posibnik-rekomendovano-MON-Ukrayini-Sribnyuk-S-M-TSentr-uchbovoyi-literaturi.html>
5. Кондусь В.Ю., Котенко О. І. Лопатеві насоси. Навчальний посібник. Сумський нац. держ.уні-тет.- 2021 р., 293 стор.
Режим доступу:
https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/83650/3/Kondus_lopatevi_nasosy.
6. Промислове обладнання. Купити насос КМ 20/30
Режим доступу: <https://nasos-2005.com/ua>
Режим доступу <https://all-electro.com.ua/ua/p101961347-k2030-nasos-k2030.htm>
7. Системи якості. Надійне промислове обладнання. Парам. Двигуна АИР 100L2.
Режим доступу:
https://xn--80aqy.com.ua/katalog_elektrovdigatelei_air/air-100l2-5-5-kvt-3000-ob-min/

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Теорія електроприводу" спец. 141 / Є. П. Штепа, К. А. Шейда Голбад ; Каф. електромеханіки та мехатроніки. — Одеса : ОНТУ, 2023. — 43 с.

Режим доступу: <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentSearchResult?jsessionid=76D6FB936AAB48CF24E64EF9CA923092>

9. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для спец.141 П. І. Осадчук, В. Ф. Бабіч, А. А. Галіулін, Є. П. Штепа.– Одеса: ОНТУ, 2021. — 47 с.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHNT.1680438>

10. "Інтегровані Водні Технології" ТОВ

[ABB ACS310-03E-13A8-4 3ф 5.5 кВт 12.5А Перетворювачі частоти від "Інтегровані Водні Технології ТОВ" - 1893660705 \(shop-iwt.com.ua\)](http://www.shop-iwt.com.ua)

11. Товари для електромонтажу AxiomPlus.

<https://axiomplus.com.ua/kontaktory/product-65648/>

12. Допустимі довготривалі струми для проводів, шнурів, кабелів з гумовою або пластмасовою ізоляцією. Витяг з нормативних акті України

Режим доступу: http://norma.org.ua/document/legislation/PUE7/1_3_2.php#google_vignette

13. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й., Сисюк Г.Ю., Садовий О.В.– Кременчук, 2001.—410 с.

14. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник /О. І. Толочко. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – 150 с.

15. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості № 905 від 16.11.2012

Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#n20>

16. Закон України «Про охорону праці» Редакція від 01.10.2023.

Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>

					<i>КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.11</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61