

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



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему «Дослідження та модернізація електроприводу вентиляції
цеху дріжджового виробництва»

Здобувач СВО «Бакалавр»: Ачкасов Антон Володимирович

Студент групи АЕМ-40

Керівник : Розіна Олена Юріївна,
канд.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» Ачкасов Антон Володимирович гр. АЕМ-40

1. Тема роботи: «Дослідження та модернізація електроприводу вентиляції цеху 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: виробниче приміщення 16 x10 x 8; вентиляція припливно-відточна, кількість персоналу 6 осіб; тривалість технологічного циклу 24 або 32 години, кратність повітрообміну 1-2,5.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: Мета роботи; завдання роботи; дослідження технічних характеристик вентиляційної системи; 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 системи вентиляції; 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 організації вентиляції виробничого цеху. Вибір ПЧ, розробка схеми електроприводу РЦВ системи ПЧ-АД.	05.04.2024	
3	Моделювання електроприводу вентиляції виробничого цеху засобами MATLAB/Simulink , та дослідження параметрів роботи електроприводу у різних режимах	05.05.24	
4	Охорона праці та техніка безпеки при монтаже та експлуатації електроприводу	10.05.2024	
5	Економічна частина.	25.05.2024	
6	Попередній захист кваліфікаційної роботи.	17.06.2024	
7	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра.	25.06.2024	

Здобувач: Ачкасов А.В. _____

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 Ачкасов А.В. _____

АНОТАЦІЯ

Ачкасов А.В. «Дослідження та модернізація електроприводу вентиляції цеху дріжджового виробництва». Кваліфікаційна робота бакалавра. – Одеса: ОНТУ, 2024. – 74 с. Бібліогр.: 17. Іл.:29. Табл. 11.

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

Надається обґрунтування вибору вентиляторів, електродвигунів перетворювача частоти для синхронного управління двигунами вентиляторної системи, 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: вентиляція; електропривод, перетворювач частоти, електронна модель, економіка, техніка безпеки.

ABSTRACT

Achkasov A.V. «Research and Modernization of the electric drive for the yeast production ventilation system». Bachelor's qualifying work. – Odesa: ONUT, 2024. Pp.– 74 c. Bibliogr.: 17. Ill.:29. Tab. 11.

This Bachelor's qualifying work presents the controlled electric drive for the ventilation system of the yeast production. The parameters of the ventilation 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: ventilation, 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		9
1.1	Головні етапи технологічного процесу та комплекси технологічного обладнання		9
1.2	Головні біохімічні процеси у дріжджовирощувальних апаратах		11
1.3	Санітарно-гігієнічний режим дріжджового виробництва ..		12
1.3.1	Порядок дезінфекції технологічного обладнання.		12
1.3.2	Організація вентиляції виробничих приміщень на біотехнологічних підприємствах		14
1.3.3	Особливості повітрообміну на підприємствах дріжджового виробництва		16
1.4	Об'єкт дослідження і мета проекту		18
2	Розрахунково-конструкторська частина		19
2.1	Режими повітрообміну цеху вирощування дріжджової маси		19
2.2	Вибір вентилятору для організації припливно-відточної вентиляції виробничого приміщення		25
2.3	Кінематична схема електроприводу, вибір двигуна та визначення його номінальних параметрів		29
2.4	Вибір складових керованого електроприводу вентиляторів		37
2.4.1	Обґрунтування вибору системи керування електроприводу та перетворювача частоти (ПЧ)		37
2.4.2	Вибір керованого силового контактору		45
2.4.3	Вибір програмованого реле часу		46
2.4.4.	Вибір захисного обладнання та розрахунок параметрів кабелю живлення		48

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10						
<i>Изм.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Дослідження та модернізація електроприводу вентиляції цеху дріжджового виробництва</i>						
<i>Розробив.</i>		Ачкасов А.В.							<i>Арк</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів.</i>		Розіна О.Ю.							6	74	
<i>Реценз.</i>									ОНТУ, гр. АЕМ-40		
<i>Н. Контр.</i>											
<i>Затверд.</i>		Осадчук П.І									

3	Імітаційне моделювання електроприводу в середовищі <i>Simulink</i>	50
3.1	Моделювання прямого пуску асинхронного двигуна (АД) ...	50
3.2	Розрахунок параметрів схеми заміщення АД	51
3.3	Моделювання пуску електродвигуна з використанням ПЧ	56
4	Охорона праці та техніка безпеки	60
5	Економічні параметри проекту	64
	Висновки	72
	Перелік використаних джерел	73

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	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 і обумовлена потребами не тільки хлібопекарного виробництва. 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 птиці. Дріжджова біомаса є сировиною для фармацевтичної галузі при виробництві вітамінів, лікарських препаратів спеціального призначення.

Тому на часі розробка нових технологій вирощування дріжджів [1], нового обладнання [2] для реалізації цих технологій, створення нових автоматичних і напівавтоматичних ліній (або навіть заводів) дріжджового виробництва. Повна реконструкція підприємства дріжджового виробництва з одночасним розв'язанням питань створення безпечних умов праці для персоналу, організації ефективного та економного енергоспоживання, створення технологічних ліній, що відповідають сучасним досягненням біотехнологічної інженерії - технічна задача, що потребує значних капітальних вкладень. Тому її розв'язання є практично неможливим для підприємств малої і середньої потужності, що виробляють 15% дріжджового продукту України у вигляді живих (пресованих) дріжджів. Для них доцільною є поетапна реконструкція, яка потребує, зокрема, модернізації електроприводу технологічного обладнання з метою підвищення енергоефективності, безаварійної роботи обладнання, електробезпечних умов праці для персоналу.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1 Характеристика технологічного обладнання та режимів його роботи

1.1 Головні етапи технологічного процесу та комплекси технологічного обладнання. Дріжджі використовують в хлібопекарній галузі як збудників спиртового бродіння та розпушувача тіста. Їх використовують також для виробництва вітамінів та лікарських препаратів. В останні роки білкова маса дріжджового походження є основою для харчових добавок при відгодовуванні худоби. При аерації дріжджової маси відбувається окислення цукру живильного розчину; продуктами реакції є вода H_2O та вуглекислий газ CO_2 . На деяких потужних виробництвах вуглекислий газ CO_2 збирають та скраплюють для подальшого використання у виробництві газованих напоїв.

Виготовлення хлібопекарських дріжджів на дріжджових заводах складається з наступних технологічних процесів (рис.1.1)

- 1 - підготовка живильного середовища,
- 2 - вирощування дріжджової маси
- 3 - виділення дріжджів з бражки
- 4 – зневоднення дріжджової маси
- 5 – формування брикетів, пакування готового продукту
- 6 - сушіння дріжджів (за необхідністю) і пакування готового продукту

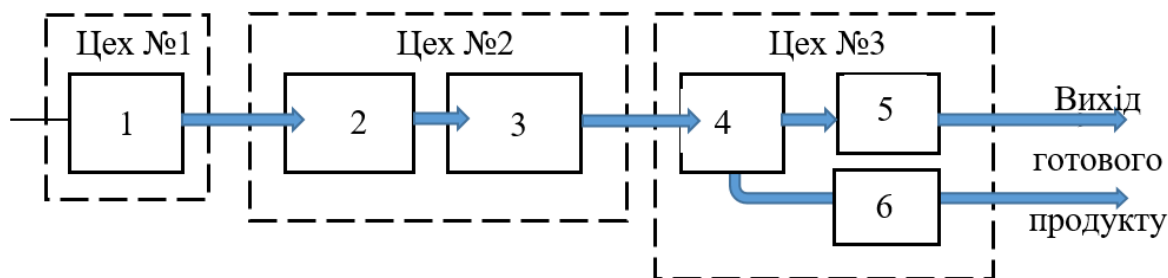


Рис.1. 1. Технологічна схема виробництва продукту «Хлібопекарські дріжджі»

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 [3].

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Комплекси обладнання відповідають показаній на рис.1.1 технологічній схемі виробництва продукту «Хлібопекарські дріжджі» [2].

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.

Найбільш енергоємним є комплекс обладнання 4, який складається з сушильних установок, облаштованих стрічковими сушарками, сушарками з віброкиплячим шаром, вакуумними сублімаційними сушарками.

Завершальний етап виробництва, на якому отримують готовий (товарний) продукт, облаштований комплексом 5, який складається з машин для формування брикетів, пакування, конвеєру для транспортування продукції в холодильні камери складських приміщень. На лінії 5 виготовляють пресовані дріжджі (вологість 75%). Показане на рис.1.2. відгалуження на комплекс 6 дозволяє виготовляти гранульовані сушені дріжджі (вологість 9%).

Машинно-апаратурна схема процесів вирощування і збагачення дріжджової маси представлена на рис.1.2. Процеси вирощування і збагачення дріжджової маси потребують найбільшого часу для їх реалізації. Також ці процеси потребують значної кількості очищеного та стерилізованого повітря для активного росту дріжджової маси. Відповідні комплекси обладнання розташовані в цеху №2.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Ключові етапи технологічного процесу відбуваються саме тут і використана технологія суттєво впливає на час виготовлення продукту, його собівартість та загальне енергоспоживання.

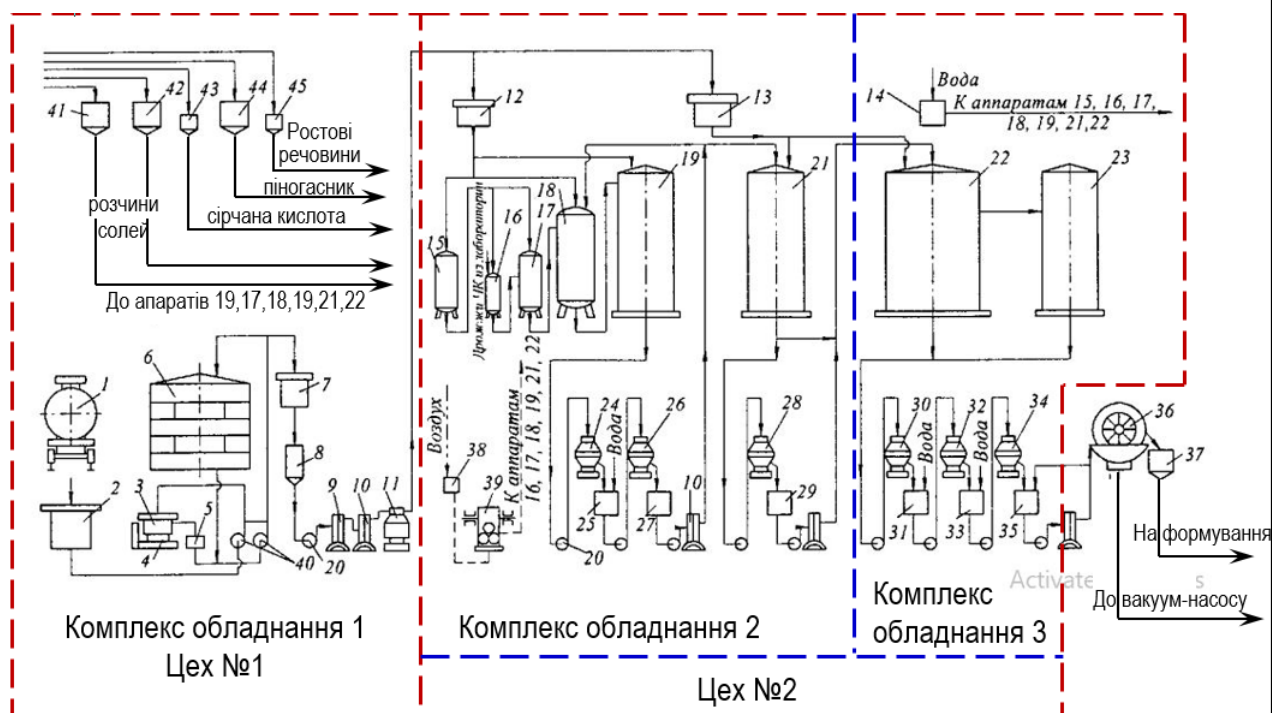


Рис.1. 2. Машинно-апаратурна схема вирощування дріжджової маси

(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 (барботажу) через усі дріжджовирощувальні апарати (15-22).

1.2. Головні біохімічні процеси у дріжджовирощувальних апаратах.

А) Засвоєння кисню, який містить повітря. Щоб забезпечити нормальне розмноження дріжджів, середовище аерують кількістю повітря (розхід складає 100-120 м³/годину на 1 м³ середовища). Дріжджі розмножуються протягом 14-20 годин, загальний об'єм усіх дріжджовирощувальних апаратів залежить від потужності виробництва, і для організації 1 циклу вирощування продукту розхід може варіюватися в діапазоні $Q = (10 \div 80)$ тис. м³/годину [3].

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10

Арк.

11

Формат А4

Повітря, що пройшло об'єм вирощувальної біомаси втрачає значну кількість кисню O_2 , але суттєво збагачується складовою двоокису вуглецю CO_2 . Сформовані барботажні (аерліфтні) пухирці утворюють піну у верхній частині дріжджовирощувального апарату; ця піна руйнується речовинами-піногасниками та відводиться через патрубок, розташований у верхній частині дріжджовирощувального апарату. Ця суміш газів може

- а) скидатися у повітря цеху, як відбувалося у підприємствах старого зразка;
- б) відводитися у навколишнє середовище;
- в) з використанням рекупераційних технологій повертатися до біомаси виробничої лінії.

Остання схема повітрообороту у дріжджовирощувальних апаратах є прогресивною, але санітарні норми обробки технологічних приміщень перешкоджають її використанню у виробничих цехах.

1.3. Санітарно-гігієнічний режим дріжджового виробництва

1.3.1 Порядок дезінфекції технологічного обладнання. 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 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

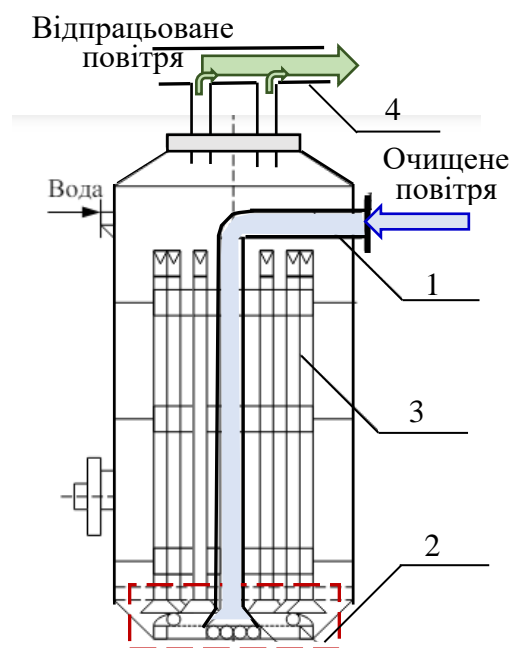


Рис.1.3. Схема дріжджовирощувального апарату

1 –повітропровод, 2 – зона формування двофазного середовища, 3- аерліфти, 4 - відведення повітря, збагаченого CO_2

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10

Арк.

12

Формат А4

(1 раз на цикл) піддавати чищенню та миття. Особливо ретельно миють і дезінфікують сепаратори, призначені для виділення дріжджів чистої культури (ЧК) і природно чистої культури (ПЧК). 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 елементу) [1].

Тоді всі стадії обробки обладнання регламентовані у часі і після завершення одного 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) проміжне ополіскування чистою водою 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. 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 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 зміну) піддавати чищенню та миття. Особливо ретельно миють і дезінфікують сепаратори, призначені для виділення дріжджів чистої культури (ЧК) і природно чистої культури (ПЧК).

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Всі трубопроводи після закінчення циклу промивають холодною водою і пропарюють протягом 20-30 хв.

Очевидно, повітря збагачене складовою CO_2 , та збіднене киснем O_2 не можна повертати без додаткового очищення на технологічну лінію.

1.3.2. Вентиляція виробничих приміщеннях на біотехнологічних підприємствах. Незалежно від напрямку виробничої діяльності підприємства, за законодавством України встановлені загальні вимоги до вентиляційних систем виробничих приміщень. Вони регламентовані санітарними нормами безпеки громадян України.

1. Примусова вентиляція повинна відповідати правилам пожежної безпеки.
2. Небезпечні для здоров'я речовини повинні видалятися без допуску в робочу зону співробітників.
3. Заводська витяжка для виробничих приміщень повинна обов'язково паспортизуватися, мати гігієнічний і пожежний сертифікат про безпеку матеріалів, з яких виготовлені деталі обладнання.
4. Повітропроводи повинні бути зроблені з корозійностійких матеріалів, бути покриті оцинкованим металом або порошковою фарбою. Покриття горючої фарбою повинно бути менше 0,2 мм в товщину.
5. Також норми витяжної вентиляції припускають, що повітряні канали, виводять шкідливі або вибухонебезпечні речовини можуть перетинатися з теплоносіями тільки тоді, коли цього температура теплоносія буде нижче температури займання речовини більше, ніж на 20 °С.
6. Взимку температура у виробничому приміщенні має перевищувати 5 °С в неробочий час, і перевищувати 10°С у присутності операторів технологічного процесу. Другим критерієм є порівняння з температурою навколишнього середовища. Комфортною для людини є температура (18 ÷ 24)°С. Якщо такою є температура навколишнього середовища, то температура в цеху може перевищує зовнішню не більше, ніж на 4 °С. Рівень вологості повітря і швидкість переміщення повітряних мас при цьому не нормуються.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

7. На шкідливих виробництвах важливо не перевищувати норми ГДК (гранично допустимої концентрації) небезпечних речовин.

8. Загальний рівень шуму у виробничому приміщенні не повинен перевищувати 110 дБ.

Вентиляція виробничих приміщень [4] забезпечує надходження чистого повітря і виведення відпрацьованого. Як правило, обладнується така система вентилявання технікою охолодження або обігріву. Для облаштування використовуються різні схеми вентиляції та різне вентиляційне обладнання.

Важливо, що немає універсальних типів систем вентиляції, здатних однаково ефективно виконувати поставлені завдання у приміщеннях різного типу і призначення (спортивний зал, зал ресторану, приміщення кухні того ж ресторану, цех розташування хлібопекарської печі, цех первинної переробки сировини та цех підготовки фаршу при виробництві ковбас). Тому проекти вентиляційної системи враховують специфіку виробництва: технологічні параметри обладнання, вимоги до повітрообміну, кількість операторів) [4].

На етапі проектування проводиться аеродинамічний розрахунок системи, у якого визначаються розмірні параметри майбутнього повітроводу та інші норми для обладнання. Підбираються вентилятори та додаткове обладнання для балансування та налагодження системи. Вибирається регульовальна техніка, робиться розрахунок системи фільтрації подається і видаляється повітря і т. д. При розрахунку і проектуванні системи вентиляції на виробництві враховують цілий ряд факторів, серед яких:

- Розмір і геометрія цеху. Від цього залежить обсяг повітря, а також алгоритм руху його потоків по приміщенню. Враховуються можливі застійні зони та інше.
- Кількість персоналу, а також рівень інтенсивності фізичної праці. Так, для легких фізичних навантажень досить повітрообміну в розмірі $Q_0 = 45 \text{ м}^3/\text{год}$ на людину, а при виконанні важких фізичних робіт – не менше $Q_0 = 60 \text{ м}^3/\text{год}$ на людину.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

- Враховується специфіка технологічних процесів та ступінь забруднення шкідливими речовинами. Інтенсивний повітрообмін організують у цехах фарбування, а при застосування токсичних речовин.
- Вентиляційна система має враховувати обсяг тепла, що генерується обладнанням, і видаляти надлишкову теплову енергію (особливо при відсутності ефективної системи кондиціонування).
- Вентиляційна система має видаляти надлишкову вологість, спричинену технологічними процесами, і знижувати її до нормативних значень.

При проектуванні системи вентиляції на виробництві особлива увага приділяється найбільш проблемним зонам - центрами генерування газу, пилю, диму, летких домішок і тепла. При цьому відіграють роль такі значення як обсяг шкідливих речовин на 1 м³, швидкість переміщення шкідливих частинок. Якщо питома маса шкідливих частинок і інших домішок виявиться занадто високою, то в місцях викиду забруднюючих речовин повинні бути розташовані локальні системи вентиляції, такі як парасольки і місцеві відсмоктувачі.

Виробнича вентиляція за принципом спрямованості потоку може бути: **припливна** передбачає забір повітря з вулиці, його прогрівання, фільтрацію і подачу в приміщення;

відточна видаляє відпрацьоване повітря разом із домішками і зайвим теплом з технологічного приміщення.

Тільки витяжна або тільки припливна система вентиляції використовуються вкрай рідко, в основному на виробництвах агропромислового напрямку, де забрудненість повітря невелика.

1.3.3. Особливості повітрообміну на підприємствах дріжджового виробництва. У виробничих цехах підприємства, що вирощує дріжджі застосовують **припливно-витяжні вентиляційні системи** (рис.1.4), що забезпечують більш рівномірний повітрообмін. У цехах дріжджового виробництва найчастіше обладнується **канальна вентиляція**, при якій повітря рухається по повітроводам за допомогою ежекторної установки або

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

вентиляційного обладнання – осьового чи відцентрового вентилятора потрібної продуктивності.

У цехах дріжджового виробництва виникає потреба у припливно-витяжній вентиляції тому що необхідно вводити чисте повітря із значної висоти (даху 2-3 поверхової будівлі). За показниками хімічного забруднення (гази) та біологічного забруднення (мікроорганізми: бактерії, віруси, спори грибків) на висоті забору повітря його забруднення нижче допустимих значень на 2 порядки. Тоді система повітропідготовки не потребує додаткового обеззаражування термічним або біохімічним шляхом.



Рис.1.4. Приклад організації припливно –витяжної вентиляції

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 напівавтоматичне обладнання, розраховане на виробництво значних обсягів дріжджової продукції. На таких заводах розхід повітря для живлення біомаси може досягати $Q = (50 \div 80)$ тис. м³/годину [3], відповідно 0,2% цих величин припадає на складову O₂. На таких підприємствах виробляють пресовані та 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, показані на рис.1.1 без відгалуження на лінію сушіння. На таких заводах розхід повітря для живлення біомаси може досягати $Q = (5 \div 20)$ тис. м³/годину. Також в Україні існують виробники дріжджової продукції, асоційовані з меласно-спиртовими заводами. Ця категорія виробників займає 15% дріжджового ринку України.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10

Арк.

17

Вони виробляють тільки пресовані дріжджі, їх обсяг виробництва значно нижчий у порівнянні з сушеними, внаслідок відносно низького терміну зберігання. Але відмовлятися від розвитку та підтримки таких підприємств, за рекомендаціями провідних спеціалістів галузі, є недоцільним. Адже пресовані дріжджі є продуктом вищої якості у порівнянні з сушеними, тому що протягом визначеного терміну придатності – це «живий» біопродукт, який не проходить додаткової технологічної (фізико-хімічної) обробки.

Зрозуміло, що саме на підприємствах такого типу необхідно розв'язувати задачі підвищення ефективності енергоспоживання на кожній технологічній лінії.

1.4 Об'єкт дослідження і мета проекту

Актуальність теми впливає з задекларованої державою Україна стратегії розвитку паливно-енергетичного комплексу, яка спрямована на підвищення енергетичної безпеки. Одним з основних напрямків визначено впровадження ефективних енергозберігаючих технологій

Об'єктом дослідження є електропривод вентиляції цеху дріжджового виробництва.

Метою проекту є підвищення ефективності споживання електроенергії вентиляційним обладнанням, для досягнення якої поставлена задача розробки частотно-регульованого електроприводу вентиляторів; одним з результатів розв'язання такої задачі має бути зменшення пускового струму двигуна та механічного моменту під час розгону і гальмування, відповідно підвищення терміну використання обладнання та зменшення навантаження на мережі живлення.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

2. Розрахунково-конструкторська частина

2.1. Режими повітрообміну цеху вирощування дріжджової маси

Вентилятор – це механічний пристрій, що забезпечує повітрообмін у різних технологічних процесах. У цеху розташування дріжджоростильних апаратів реалізовані два процеси, в основі яких лежить повітрообмін.

Перший процес зв'язаний з аерацією середовища дріжджоростильних апаратів під час активної фази росту дріжджової маси. Другий процес - вентиляція виробничого цеху, очищення повітря від зайвої вологи та агресивних хімічних сполук, які випаровуються в об'ємі приміщення під час санітарної обробки обладнання.

Вентилятори за принципом дії поділяються на осьові та відцентрові.

На рис.2.1 показана схема осьового лопатевого вентилятора. У такому вентиляторі формується односпрямований швидкісний потік повітря. Такі властивості вентилятору обумовлені тим, що колектор 1, робоче колесо 2, направляючий пристрій 3, дифузор 4 орієнтовані уздовж однієї осі.

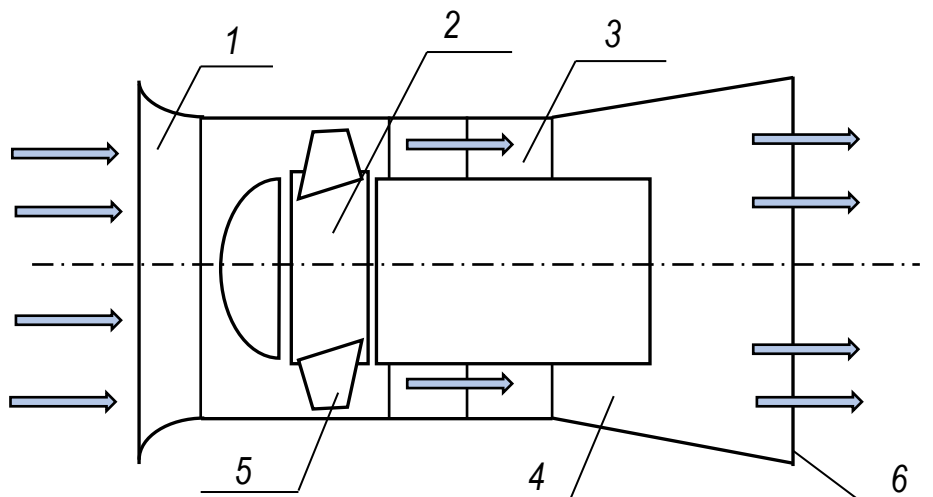


Рис.2.1. Схема осьового лопатевого вентилятору
1 – колектор, 2 – робоче колесо, 3 – направляючий пристрій,
4 – дифузор, 5 – лопати, 6 – корпус

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10

Арк.

19

Формат А4

На втулці робочого колеса 2 закріплені профільні лопатки 5. Уся конструкція закріплена у осесиметричному корпусі 6. Обертання робочого колеса створює перепад тиску між колектором та дифузором, внаслідок чого створюється спрямований потік повітря. Осьові вентилятори бувають одноступінчатими і двоступінчатими.

Якщо маємо двоступінчатий вентилятор, у його кожусі знаходяться дві ступені, які працюють послідовно. Кожна ступінь має своє робоче колесо, між робочими колесами знаходиться проміжний направляючий апарат. Цей апарат складається з нерухомих профільних лопаток або профільних лопаток з регульованим кутом установки.

Призначення направляючого апарату – подача повітря до робочого колеса і перетворення частини кінетичної енергії потоку (динамічного тиску) в потенційну (статичний тиск). Спрямовуючий апарат встановлюється за другим робочим колесом по ходу струменя. Обидва ступені можуть знаходитися на одному валу або на окремих валах. Наявність двох ступенів дозволяє вентилятору розвивати більший тиск.

Такого типу перетворювачі кінетичної енергії обертання робочого колеса у кінетичну енергію потоку повітря використовуються у воздуходувних машинах, для аерації дріжджової суспензії у дріжджоростильних апаратах.

Для вентиляції виробничого приміщення використовують радіальні вентилятори. На рисунку 2.2 показана схема радіального вентилятора.

Робоче колесо 1 обертається в спіральному кожусі 2. Кожух равликоподібного типу забезпечує подачу повітря у різних напрямках. Як видно з рис.2.2, вхідний потік повітря завжди перпендикулярний до напрямку вихідного потоку. З колектору 3 потік повітря спрямовується на робоче колесо 1. Між переднім і заднім дисками робочого колеса закріплені профільні лопатки таким чином, що їх вхідна кромка розташована на колі меншого радіусу, чим вихідна хвостова частина. Призначення робочого колеса - передавати енергію приводу вентилятора переміщуваному повітрю.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

У вентиляторах більш складної конструкції є можливість змінювати кут, під яким орієнтовані лопатки робочого колеса, і таким чином регулювати розхід повітря. Направляючий апарат призначений для подачі повітря до робочого колеса з певною швидкістю і під певним кутом.

Це дозволяє регулювати робочі режими вентилятора. Повітря надходить до вала робочого колеса паралельно осі.

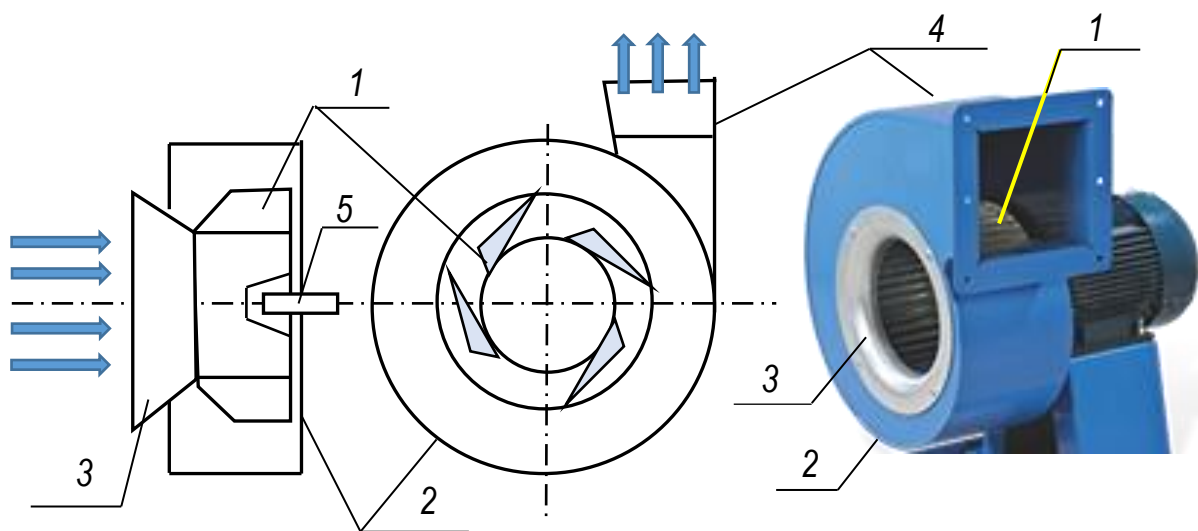


Рис.2.2. Схема радіального вентилятора:

- 1 – робоче колесо з лопатками; 2 – спіральний кожух;
3 – вхідний колектор; 4 – дифузор, 5 – вал

Під дією тяги, що розвивається лопатками, і відцентрової сили повітряний потік проходить між лопатками і повертається на 90° , потім поступає в периферичну частину корпусу і проходить через дифузор 4 в атмосферу. Дифузор є додатковим перетворювачем динамічного тиску в потоці на виході з кожуха в статичний тиск.

Параметри вентиляторів, що використовуються в проекті мають задовольняти заданим вихідним даним.

Для забезпечення активації росту біомаси повітрорудна машина (осьовий вентилятор) має організувати розхід повітря порядку $Q = 10$ тис. м³/годину.

Параметри вентиляційної системи (відцентровий вентилятор), зокрема розхід, визначаємо з урахуванням

А) геометричних розмірів виробничого приміщення $V = 16 \times 10 \times 8$ м³

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10

Арк.

21

Формат А4

Б) кількості працівників, що забезпечують контроль технологічного процесу – $N = 6$ осіб протягом однієї зміни;

В) норм повітрообміну на одну особу $Q_0 = 45 \text{ м}^3/\text{год}$;

Г) нормативних значень CO_2 у різних умовах

свіже припливне повітря $C_{\text{CO}_2\text{НОРМ}} = (0,3 \div 0,4) \text{ л}/\text{м}^3$

допустимо у виробничому приміщенні $C_{\text{CO}_2\text{ДОП}} = 2,5 \text{ л}/\text{м}^3$

Д) технологічної схеми виробництва, яка визначає періодичність та кількість викидів небезпечних газоподібних речовин

Виконуємо необхідні розрахунки:

Об'єм виробничого приміщення $V = 16 \times 10 \times 8 \text{ м}^3 = 1,280 \text{ тис. м}^3$

Розхід повітря на обслуговуючий персонал однієї зміни

$$Q_0 = Q_0 \cdot N = 45 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 6 = 0,270 \text{ тис. м}^3/\text{год}$$

Концентрація вуглекислого газу наприкінці 1 зміни C_{CO_2} :

Середній дихальний об'єм $0,6 \text{ л}$ (при об'ємі легенів $4\text{-}6 \text{ л}$).

Середня людина виконує $18\text{-}20$ видихів за хвилину, за робочу зміну $20 \cdot 60 \cdot 8 = 9600$ видихів, 6 осіб за одну однієї 39600 видихів.

Повний об'єм повітря, збагаченого вуглекислим газом, становить

$(39600 \text{ видихів}) \cdot 0,6 \text{ л} = 23760 \text{ л}$; частка C_{CO_2} у цьому об'ємі становить 4% , тобто $23760 \text{ л} \cdot 0,04 = 950 \text{ л} \approx 1 \text{ м}^3$.

За рахунок дихання обслуговуючого персоналу зростання концентрації

$$\Delta C_{\text{CO}_2} = 950 \text{ л}/1728 \text{ м}^3 = 0,55 \text{ л}/\text{м}^3$$

$C_{\text{CO}_2} = C_{\text{CO}_2\text{НОРМ}} + \Delta C_{\text{CO}_2} = (0,4 + 0,55) \text{ л}/\text{м}^3 = 0,95 \text{ л}/\text{м}^3$ - це у $2,5$ рази менше, ніж граничне допустиме значення.

При таких умовах можна прийняти, що необхідна кратність повітрообміну дорівнює $0,5$.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Урахування особливостей технологічного процесу потребує будови графіку навантаження на вентиляційну систему. За нормативами наприкінці кожної виробничої зміни необхідно проводити санітарну обробку приміщень та поверхневу обробку обладнання. Після кожного циклу вирощування дріжджової маси проводять миття та дезінфекцію технологічного обладнання та з'єднувальних трубопроводів. Загальний час обробки варіюється від 50 до 90 хвилин. 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 для боротьби зі сторонніми мікроорганізмами - хлорне вапно, антиформін, формалін, газоподібний формальдегід, гіпохлорид кальцію. Така санітарна обробка потребує інтенсивного повітрообміну у виробничому приміщенні з кратністю 3-4. На рис.2.3 показана добова діаграма технологічного процесу і активність вентиляційної системи.

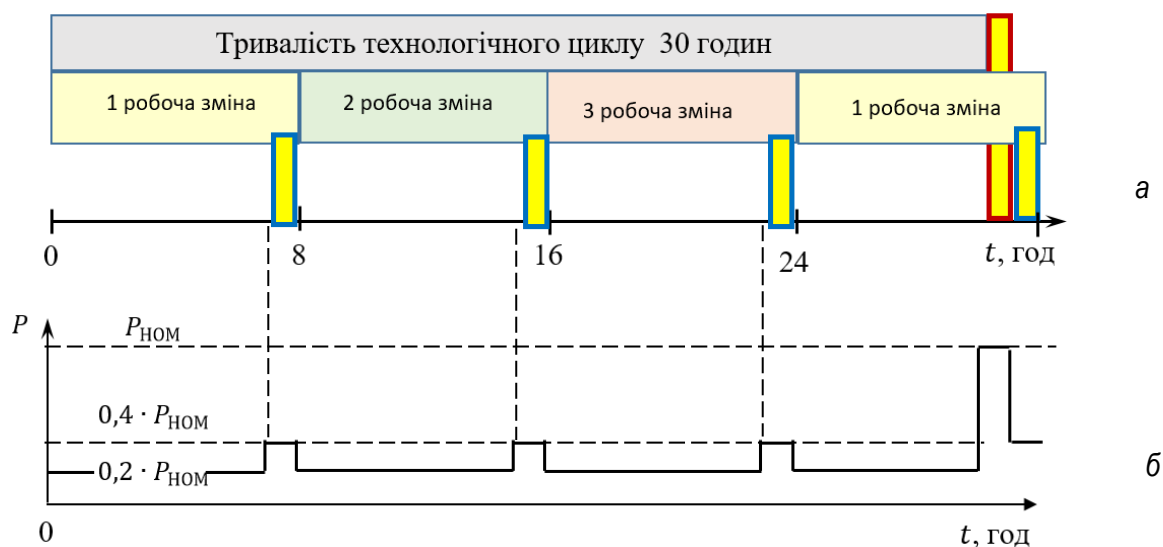


Рис.2.3. Узгодження технологічного циклу та добового навантаження на вентиляційну систему:

а – погодинний графік технологічного циклу і робочих змін;

б – графік добових навантажень електроприводу вентиляційної системи;

В залежності від типу обладнання, країни виробника, років випуску, технологічної схеми виробничого процесу тривалість технологічного циклу може варіюватися від 18 до 30 годин.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

На рис.2.3 показане узгодження схеми 30-ти годинного циклу з робочими змінами тривалістю 8 годин, а також підвищення потужності електроприводу і продуктивності вентиляційної системи під час санітарних обробок технологічного обладнання та виробничого приміщення. Інтенсивній хімічній обробці технологічного обладнання відповідає робота вентиляційної системи на повну потужність $P_{НОМ}$ протягом 31-ї години технологічного циклу. Остання година кожної 8-годинної зміни витрачається на санітарну обробку виробничого приміщення. Внаслідок меншої кількості хімічно- та біологічно-активних препаратів протягом кожної 8-ї години технологічного циклу вентиляційна система працює з потужністю $0,4 \cdot P_{НОМ}$.

Режим роботи повітродувної машини і, відповідно, графік добового навантаження (рис.2.4) електроприводу її вентилятору суттєво відрізняється від показаного на рис.2.3.



Рис.2.4. Добове навантаження системи аерації:

- a* – погодинний графік обслуговування дріжджоростильних апаратів
- б* – графік добових навантажень електроприводу повітродувної машини;

Підведемо підсумок. Для системи аерації технологічної рідини та системи вентиляції виробничого приміщення суттєво відрізняються і типи вентиляторів, і режими їх роботи.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Теж саме стосується і загальної потужність електроприводу кожної системи.

Для системи вентиляції при кратності повітрообміну 1 розхід повітря має складати $Q_1 = 1,280$ тис. м³/год. При короткочасній інтенсифікації повітрообміну, що забезпечується кратністю повітрообміну 2, розхід повітря системою вентиляції не перевищує величини

$$Q_2 = 1,280 \text{ тис. м}^3/\text{год} \cdot 2 \approx 2,560 \text{ тис. м}^3/\text{год} .$$

Для системи аерації, тобто для забезпечення активного росту біомаси, розхід повітря у повітродувній машині дорівнює $Q = 10$ тис. м³/годину. Потужність електроприводу цих систем відрізняються орієнтовно у три рази.

Отримані результати порівняння електроприводів двох систем є аргументами для того, щоб систему повітрообміну організувати як двоконтурну.

2.2 Вибір вентилятору для організації припливно-відточної вентиляції виробничого приміщення.

Для організації припливно-відточної система вентиляції необхідно використовувати два вентилятори, один з яких забезпечує приплив чистого повітря у виробниче приміщення, а другий вентилятор витяжку відпрацьованого повітря у навколишнє середовище.

Особливістю біотехнологічного виробництва є вищі стандарти чистоти повітря для виробничих приміщень у порівнянні з вимогами до офісних, житлових приміщень, підприємств харчування. Для системи аерації дріжджової біомаси припливне повітря прожарюють для обеззаражування, і потім охолоджують до технологічної температури. Для системи вентиляції прийнято за норму відбирати повітря з висоти (10÷15)м (це висота даху 2-3-поверхового будинку), якщо підприємство знаходиться на віддаленні від населених пунктів з багатоповерхівками, автомобільних трас, інших підприємств.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10

Арк.

25

До параметрів, що характеризують вентилятор, відносять

Q - продуктивність (розхід по повітря), $10^3 \text{ м}^3/\text{год}$

P_V – напір, або надлишковий тиск (або розрідження), Па

n - частоту обертання робочого колеса

Для правильного обрання вентилятору слід визначити втрати напору у вентиляційних каналах.

На рис.2.5 показана діаграма аеродинаміки вентилятору ВЦ 14-46 3,15 [5]. Визначений вище параметр $Q_2 \approx 3,5$ тис. $\text{м}^3/\text{год}$, відповідає завданню кваліфікаційної роботи і найближчий до характеристик обраного вентилятору.

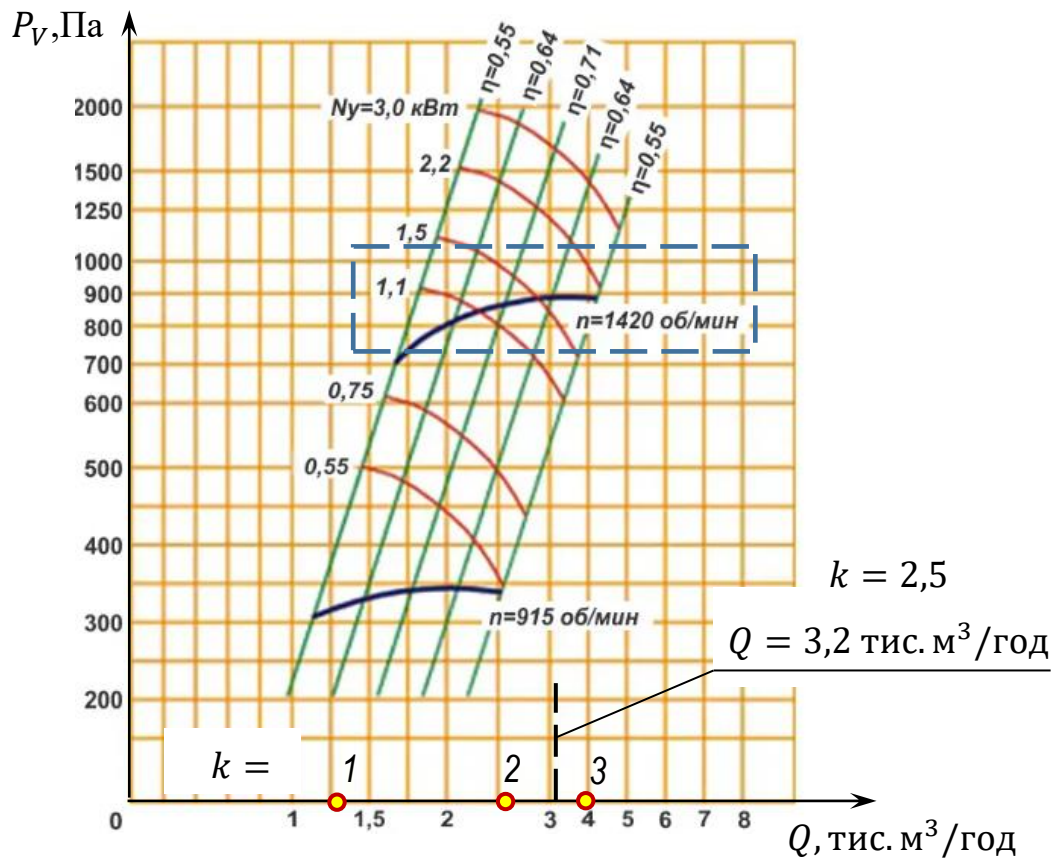


Рис.2.5. Аеродинамічні характеристики вентилятору ВЦ 14-46 3,15

З урахуванням того, що система вентиляції припливно-відточна, використовуємо два однакових вентилятора, з еквівалентними втратами у вентиляційних каналах

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10

Арк.

26

Формат А4

За даними виробника [5] вентилятор ВЦ 14-46 3,15 має конструктивне виконання та діапазон робочих параметрів, що відповідають поставленій технічній задачі.

Корпус вентилятора металевий, за вимогами споживача може бути виконаний з різних металів. Стандартне виконання – матеріал корпусу вуглецева сталь, така модифікація використовується у загально промисловій вентиляції. Для галузей харчових технологій, хімічній промисловості та інших сферах, де підвищена хімічна агресивність відпрацьованого повітря, рекомендовано встановлювати модель з корпусом з нержавіючої сталі. Вона має позначку - корозійностійке виконання. За формою корпус має стандартне виконання: форма – спіральний, патрубки - вхідний коловий, вихідний квадратний (рис.2.2), равлик можна повертати на рамі, і забезпечувати максимально зручний напрямок вихідного потоку (відпрацьоване повітря). Кути повороту відносно вертикального спрямування потоку, показаного на рис.2.2, можна змінювати через 45° в діапазоні від 0° до 315°.

Технічні параметри рекомендованого вентилятору представляємо у таблиці.

Таблиця 2.1 Номінальні параметри вентилятору за даними виробника [5]

ВЦ14-46 3,15 Виконання 1	Параметри двигуна в комплекті			Параметри вентилятору		
	Марка	Потужність $P_{НОМ}$, кВт	Частота оберт. $n_{НОМ}$, об/хвил	Розхід Q , м ³ /год	Надлишковий тиск P_V , Па	Маса m, кг
	АИР80В4	1,5	1500	4200	900	50

Використовуємо параметрами Таблиці 2.1 та аеродинамічної характеристики вентилятору (рис.2.5) і розраховуємо номінальну потужність вентилятору за формулою

$$P_{ВЕНТ} = \frac{Q_{НОМ} \cdot P_{V\text{НОМ}}}{\eta_{ВЕНТ}} \quad (2.1)$$

Для виконання розрахунків представимо усі параметри в SI:

$$Q_{НОМ} = 4200 \text{ м}^3/\text{год} = 4200/3600 (\text{м}^3/\text{сек}) = 1,67 (\text{м}^3/\text{сек})$$

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Підставляємо значення у вираз (2.1) і виконуємо розрахунки

$$P_{\text{ВЕНТ}} = \frac{1,67 \cdot 900}{0,61} = 2463 \text{ Вт} = 2,5 \text{ кВт} \quad (2.1a)$$

Як видно з таблиці 2.1, потужність двигуна при стандартній комплектації виявляється недостатньою. Необхідно обирати двигун з потужністю вищою, тобто порядку 3кВт.

Розраховуємо механічний момент на валу вентилятора

$$M_{\text{вент}} = \frac{P_{\text{ВЕНТ}}}{\omega} = \frac{2463}{151,7} = 16.2 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.2a)$$

Зазначимо, що використані для розрахунку параметри відповідають режиму вентиляції з кратністю повітрообміну $k = 3.3$. Кратність повітрообміну k характеризує, у скільки разів чисельне значення розходу перевищує об'єм приміщення, що підлягає вентиляції. Тобто для приміщення об'ємом $V=1280 \text{ м}^3$ при номінальному значенні $Q_{\text{НОМ}} = 4200 \text{ м}^3/\text{год}$

$$k_{\text{НОМ}} = \frac{Q_{\text{НОМ}}}{V} = \frac{4200}{1280} = 3,28 \cong 3,3$$

На рис.2.5 на горизонтальній осі позначені точки, що відповідають розходам Q , які забезпечують кратності повітрообміну 1, 2, 3.

Таблиця 2.2. Відповідність значень кратності k та розходу Q

Кратність k	1	1.5	2	2.5	3	3,5
Зменш. концентр. у кільк.разів	$2^1=2$	$2^{1.5}=2,3$	$2^2=4$	$2^{2.5}=5,7$	$2^3=8$	$2^{3.5}=11,3$
Розхід Q , $\text{м}^3/\text{год}$	1280	1920	2560	3200	3840	4480

$k = 1$ означає, що концентрація домішок протягом одної години зменшиться вдвічі; при $k = 2$ за 1 год зменшиться в 2^2 рази. Далі розраховуємо потужність приводу для $k = 2,5$, а ступінь очищення повітря можна задавати тривалістю роботи вентиляційної системи.

$$P_{\text{ВЕНТ}} = \frac{Q_{2,5} \cdot P_V}{\eta_{\text{вент}}} = \frac{(3200/3600) \cdot 900}{0,61} = 1311 \text{ Вт} \quad (2.3)$$

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Розраховуємо механічний момент на валу вентилятора

$$M_{\text{вент}} = \frac{P_{\text{вент}}}{\omega} = \frac{1311}{151,7} = 14,2 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.2 \text{ б})$$

Як видно, потужність двигуна, що надається у комплекті, недостатня для організації продуктивної вентиляції. З урахуванням коефіцієнту запасу $k_{\text{з_двиг}} = 1,3$ розрахункова потужність двигуна становитиме

$$P_{\text{двиг}} = k_{\text{з_двиг}} \cdot \frac{Q_{\text{ном}} \cdot P_{V \text{ ном}}}{\eta_{\text{вент}} \cdot \eta_{\text{двиг}}} = 1,3 \cdot \frac{0,88 \cdot 900}{0,61 \cdot 0,8} = 2,163 \text{ кВт} \quad (2.3)$$

2.3. Кінематична схема електроприводу, вибір двигуна та визначення його основних параметрів

2.3.1. Кінематична схема електроприводу. Ця схема у загальному випадку показує як передається електрична енергія від електричної машини до робочого органу, і як перетворюється енергія у цьому процесі [7].

Вентиляторна система, яка розглядається у даному дипломному проекті, є припливно-витяжною, складається з двох вентиляторів: один відповідає за приплив чистого повітря, другий за витяжку відпрацьованого, збагаченого речовинами для санітарної обробки обладнання і приміщення.

Кінематична схема вентилятора представлена на рисунку 2.6. На рисунку використані такі позначення: М – електричний двигун; РО – робочий орган, в якості якого виступає робоче колесо вентилятора. Двигун з'єднаний з робочим колесом без будь-яких варіаторів швидкості пружною муфтою.

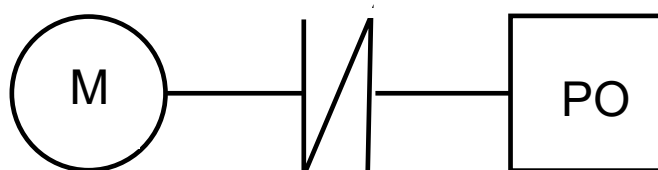


Рис. 2.6. Кінематична схема вентилятора

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Довжину повітропроводів можна організувати таким чином, щоб втрати потужності у вентиляційних каналах були однаковим для обох вентиляторів [4]. Тоді двигуни мають бути однаковими за своїми електромеханічними властивостями, і приводимо розрахунки параметрів тільки для одного. Наявність двох вентиляторів буде врахована при виборі перетворювача частоти і при виконанні монтажних робіт.

Скористаємося значеннями, розрахованими вище:

механічна потужність на валу вентилятора $P_{\text{ВЕНТ}} = 1,311$ кВт

розрахункова потужність двигуна становитиме $P_{\text{ДВИГ}} = 2,163$ кВт

Найближчим за параметрами до визначених для даного електропривода є електродвигун АИР90L4 потужністю 2,2 кВт з кількістю пар полюсів 2, відповідно $n_0 = 1500$ об/хвил; у таблиці 2.3 показані номінальні параметри, приведені в паспорті пристрою, їх позначення і розмірність.

Таблиця 2.3 Паспортні дані АИР90L4, показані на сайті

Системи якості. Надійне промислове обладнання [6]

Номінальна потужність на валу двигуна	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	2,2
Номінальна напруга живлення	$U_{\text{НОМ}}$, В	380
Частота обертання поля статора	n_0 , об/хвил	1500
Частота обертання валу (ротора) при номінальній напрузі	$n_{\text{НОМ}}$, об/хвил	1410
Номінальний струм	$I_{\text{НОМ}}$, А	5,1
ККД		80 %
Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi$	0,8
Номінальний обертаючий момент	$M_{\text{НОМ}}$, Н·м	14,69
Відношення пускового струму до номінального	$I_{\text{П}}/I_{\text{НОМ}}$	7
Відношення пускового моменту до номінального	$M_{\text{П}}/M_{\text{НОМ}}$	2,3
Відношення максимального моменту до номінального	$\lambda = M_{\text{max}}/M_{\text{НОМ}}$	2,7
Момент інерції	J , кг · м ²	0,0056

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Користуємося значеннями параметрів, які є безсумнівними, перевіряємо значення приведених в таблиці вище параметрів.

За базовим співвідношенням електротехніки [7] розраховуємо **номінальний струм** трифазного навантаження

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}} \cdot 10^3}{\sqrt{m_1} \cdot U_{1\text{НОМ}} \cdot \eta'_{1\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi'_{1\text{НОМ}}}, \text{ А} \quad (2.4)$$

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{1\text{НОМ}} \cdot \eta'_{1\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi'_{1\text{НОМ}}} = \frac{2200}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8 \cdot 0,80} = 5,3 \text{ А}$$

$m_1 = 3$ - число фаз обмотки статора.

Виходячи з зазначеного відношення пускового та номінального струмів

$$\frac{I_n}{I_{\text{НОМ}}} = 7$$

розраховуємо **пусковий струм**

$$I_{\text{П}} = 7 \cdot I_{\text{НОМ}} = 7 \cdot 5,3 \text{ А} = 37,1 \text{ А}$$

розраховуємо **номінальне ковзання**

$$s_{\text{НОМ}} = \frac{n_0 - n_{\text{НОМ}}}{n_0} = \frac{1500 - 1410}{1500} = 0,060 \quad (2.5)$$

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

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega}, \quad (2.6)$$

де ω – циклічна частота обертання ротора $n_{\text{НОМ}} = 1410$ об/хв при номінальній частоті обертання магнітного поля статора $n_{\text{сНОМ}} = 1500$ об/хв.

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

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{НОМ}}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1410}{60} = 147,6 \text{ рад/с} \quad (2.7)$$

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Підставляємо це значення у вираз (2.6) і отримуємо

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{2200}{147,6} = 14,9 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.8)$$

За паспортними даними номінальний обертаючий момент $M_{\text{НОМ}} = 14,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$, тобто з достатньою точністю дані з матеріалів [8] збігаються з виконаними розрахунками.

Розраховуємо пусковий обертаючий момент

$$M_{\text{П}} = 2,3 \cdot M_{\text{НОМ}} = 2,3 \cdot 14,8 = 34,3 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.9)$$

Розраховуємо максимальний допустимий обертаючий момент

$$M_{\text{max}} = 2,7 \cdot M_{\text{НОМ}} = 2,7 \cdot 14,8 = 39,9 \cdot \text{м} \quad (2.10)$$

2.2.2 Природна механічна характеристика двигуна

Для будови механічної характеристики двигуна використовуємо формулу Клоса [9].

$$M = \frac{2 \cdot M_K}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}} \quad (2.11)$$

Для виразу (2.11) окремо визначаємо критичне ковзання

$$\begin{aligned} s_K &= s_{\text{НОМ}} \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = \\ &= 0,06 \cdot (2,7 + \sqrt{2,7^2 - 1}) = 0,312 \end{aligned}$$

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

$$M(s) = \frac{2 \cdot 39,9}{\frac{s}{0,312} + \frac{0,312}{s}} \quad (2.12)$$

Вираз (2.12) застосовуємо для будови графіку $M(s)$ в середовищі використання MathCAD. Результат будови показаний (рис.2.7)

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$s := 0,001..1$$

$$M2(s) := \frac{s}{0.312}$$

$$M3(s) := \frac{0.312}{s}$$

$$M8(s) := \frac{39.92}{M2(s) + M3(s)}$$

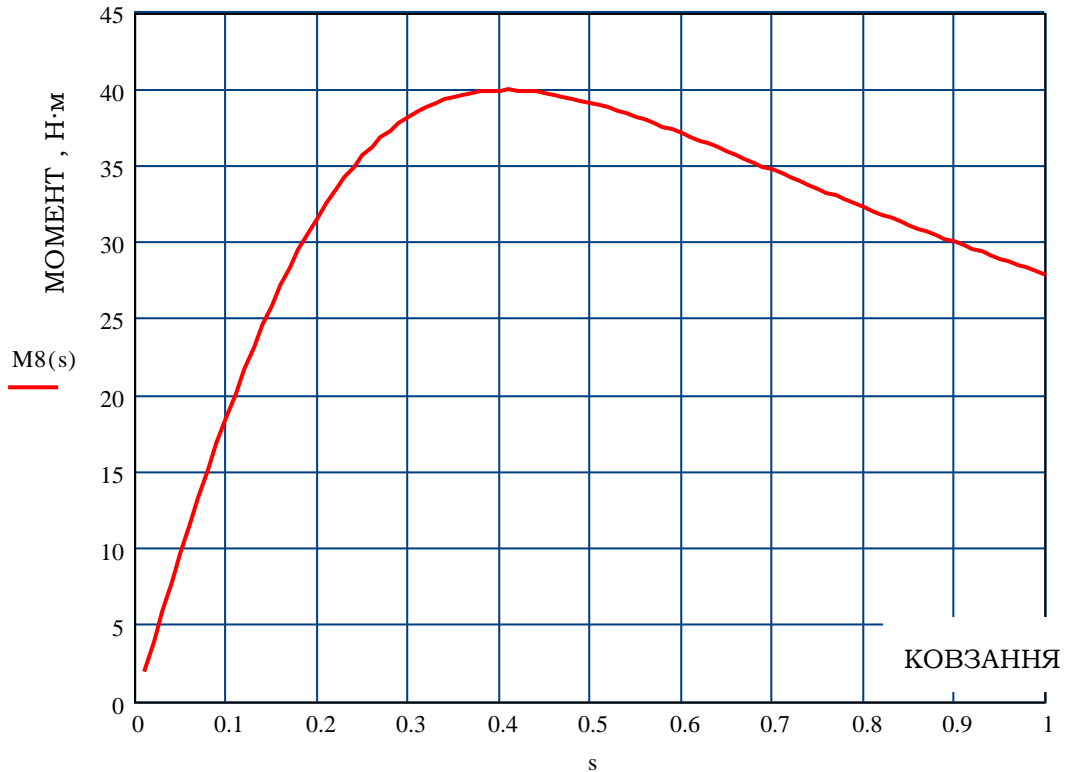


Рис.2.7. Будова механічної характеристики з використанням програмного забезпечення MathCAD

Механічна характеристика, показана на рис.2.7 не дуже зручна з практичної точки зору. Більш показовою є залежність $n(M)$, яка характеризує зв'язок між частотою n обертання ротору двигуна і прикладеного до нього електромагнітного моменту M .

Для того, щоб від залежності $M(s)$, показаної на рис.2.7, перейти до функції $n(M)$, знайдемо вигляд функції, що дозволяє перейти від ковзання s до частоти обертання n .

Виходимо з визначення параметру ковзання

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

Далі запишемо цю рівність в один рядок $s \cdot n_0 = n_0 - n$

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

і у кінцевому вигляді отримуємо зв'язок частотою обертання ротору і ковзанням

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

Розраховуємо частоту обертання, тоді можемо побудувати механічну характеристику $n(M)$.

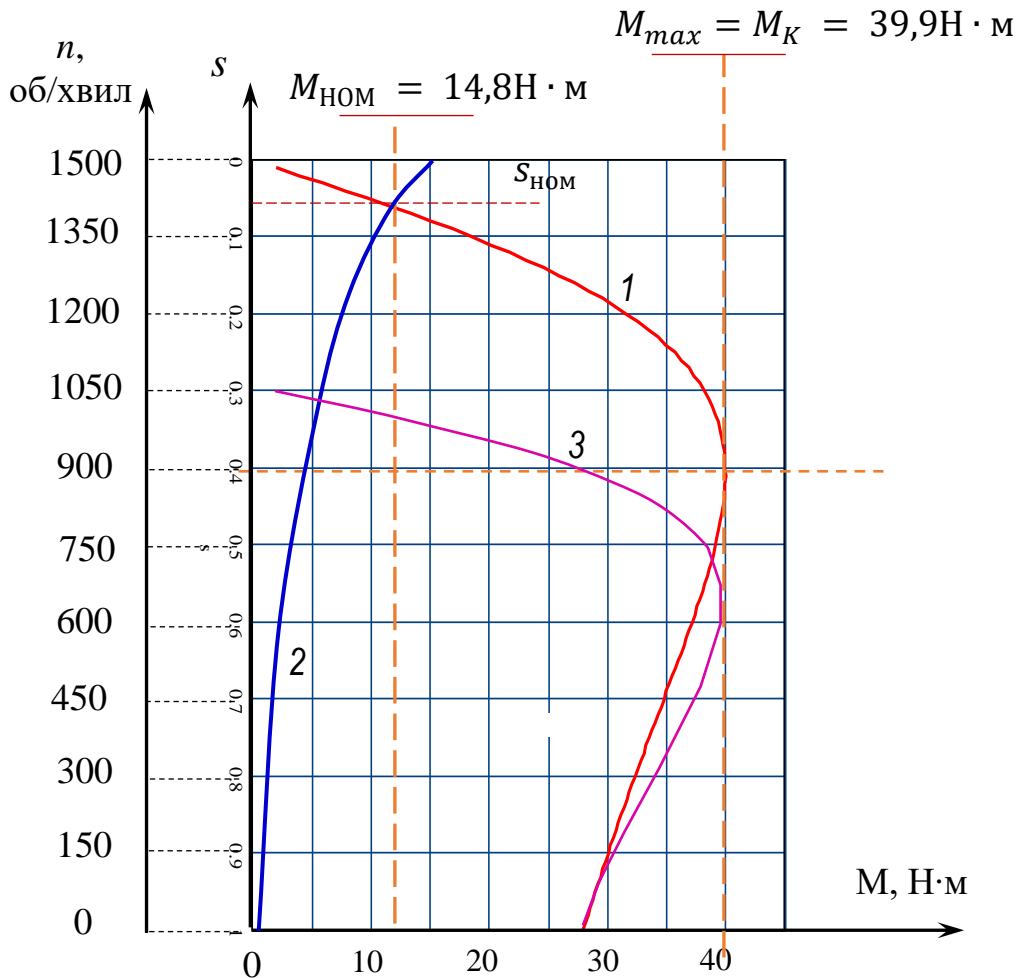


Рис.2.8. Статична механічна характеристика асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором (1,3) та робоча характеристика вентилятора (2)

Властивості спроектованого електроприводу демонструє рис.2.8, де на одному графіку побудовані робочі характеристики вентилятора ВЦ 14-46 3,15, та електродвигуна АИР90L4, який приводить вентилятор до обертання. Природна робоча характеристика двигуна (1) відповідає номінальній напрузі живлення 380 В. Зменшення напруги до 240 В відповідає робочій характеристиці двигуна (3), і, відповідно, робоча точка електроприводу знижується до частоти $\cong 1050$ об/хвил.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

2.3.2. Структурна схема керованого електроприводу.

Для технологічних приміщень великого об'єму використовують припливно-витяжну систему вентиляції. Така система складається з двох вентиляторів: один відповідає за приплив чистого повітря, другий за витяжку відпрацьованого, збагаченого речовинами для санітарної обробки обладнання і приміщення. Структурна схема електроприводу для такої вентиляційної системи показана на рис.2.9.

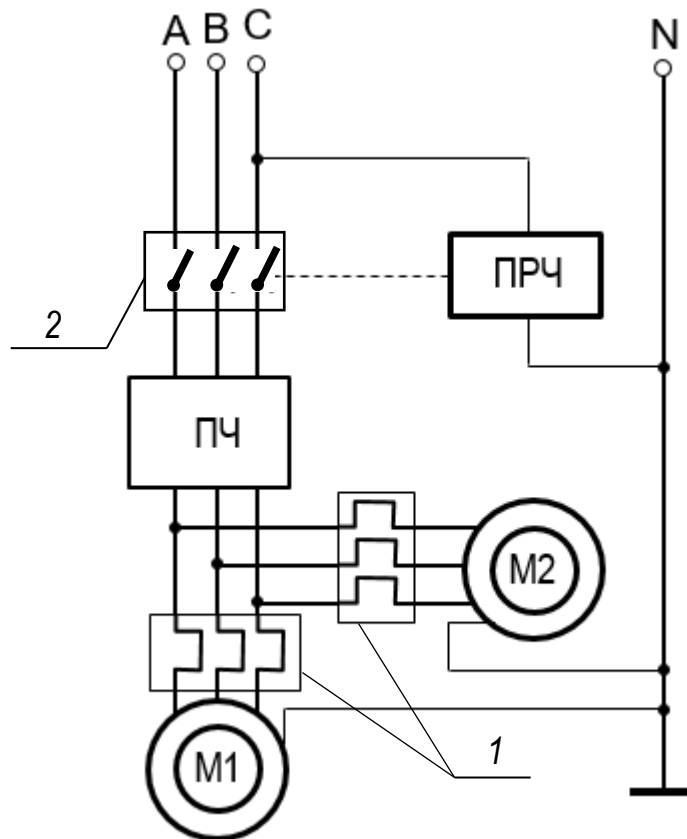


Рис.2.9. Структурна схема електроприводу для припливно-витяжної вентиляції

Привід для кожного вентилятору забезпечується двома електродвигунами однакової потужності M1 та M2. Для захисту від перевантажень кожний двигун захищений тепловим реле 1.

Електропривод живиться від загальнозаводської чотирипровідної мережі ABCN. Відомо [8,9,10] що, прямий пуск електродвигуна небезпечний для мережі живлення, тому що пусковий струм кожного двигуна може у 6-8 разів перевищувати

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10

Арк.

35

Формат А4

його номінальний струм. Значний пусковий струм також небезпечний для обмоток статора електродвигуна.

Крім того, електромагнітний момент на валу двигуна в момент пуску суттєво перевищує його номінальний момент, відповідно механічний момент на валу вентилятора так само перевищує його номінальне значення. Це означає, що лопатки вентилятору при прямому пуску можуть відчувати значний механічний удар, що у свою чергу може спричинити скорочення терміну його безаварійної роботи.

Це – основні причини розробки різних способів організації плавного пуску електродвигуна. У даному проекті з цією метою використовується перетворювач частоти ПЧ, його підключення показане на рис.2.10.

Одною з задач, що вирішується у дипломному проекті, є організація періодичного підключення та відключення системи вентиляції технологічного приміщення. Для цього використовується керований силовий контактор 2. Для керування силовим контактором підключене програмоване реле часу ПРЧ також показане на рис. 2.9.

Таким чином, для створення керованого електроприводу необхідно

А) обґрунтувати систему керування електроприводу та обрання адекватного перетворювача частоти;

Б) обрати електронне та електромагнітне обладнання для обладнання систем захисту;

В) обрати керований силовий контактор 2;

Г) обрати програмоване реле часу для організації раціональних режимів вентиляції виробничого приміщення;

Д) розрахувати параметри кабелю живлення електроприводу.

					<i>КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10</i>	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Вибір складових керованого електроприводу системи вентиляції

2.4.1. Обґрунтування вибору системи керування електроприводу ПЧ-АД та перетворювача частоти.

Приводом кожного вентилятору припливно-витяжної системи є асинхронний двигун (АД) з короткозамкненим ротором. У даний час для керування електроприводом асинхронних двигунів використовують такі системи.

РКС-АД - релейно-контакторна схема. Вона будується на релейно-контакторній елементній базі (магнітні пускачі, теплові реле, контактори, геркони), може забезпечити автоматичний пуск, гальмування, зупинку електродвигуна, його реверсне обертання, а також забезпечити його захист. Це перша розроблена система управління, яка у даний час має обмежене використання: для управління потужним електромеханічним обладнанням, яке не потребує тонкого керування режимами роботи. Головними позитивними якостями цієї системи є а) значна комутаційна потужність; б) висока перешкодостійкість; в) гальванічне розв'язання силових кіл та кіл керування.

Головними недоліками РКС-АД є високе енергоспоживання та масогабарити обладнання; високі вимоги до поверхонь контактів, необхідність їх регулярної перевірки та ретельного обслуговування; обмежений термін працездатності, у порівнянні з системами управління наступного покоління.

Узагальнюючи, відзначимо: релейно-контакторна схема управління є відносно застарілою, не має можливостей регулювання, що призводить до великих енергетичних втрат, якщо двигун має працювати на малих обертах [8].

ТРН-АД – схема управління потужністю асинхронного двигуна на основі тиристорів – сучасних елементів силової електроніки. Якщо подивитися на схематичне (спрощене) зображення ТРН-перетворювача, виникає ілюзія, що це відносно простий і, відповідно, недорогий спосіб керування роботою асинхронного двигуна. Але складність і, відповідно, ціна перетворювача такого типу залежить від функцій, які він може виконувати.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Найпростішою за схемою підключення тиристорів є схема силових кіл (нереверсивного тиристорного регулятора напруги) показана на рис. 2.10 а. Як видно, вона складається з шести тиристорів VS1-VS6, які ввімкнуті попарно – паралельно. Робота силової складової цього регулятора керується електронним блоком СІФУ системою імпульсно-фазового управління. Ця система має шість вихідних каналів, кожний з яких задає зсув фаз між початком стандартної синусоїди та моментом формування імпульсу, що відкриває тиристорний ключ. Зміною напруги керуючого сигналу $U_{кер}$, можна регулювати діюче значення напруги на обмотках статора

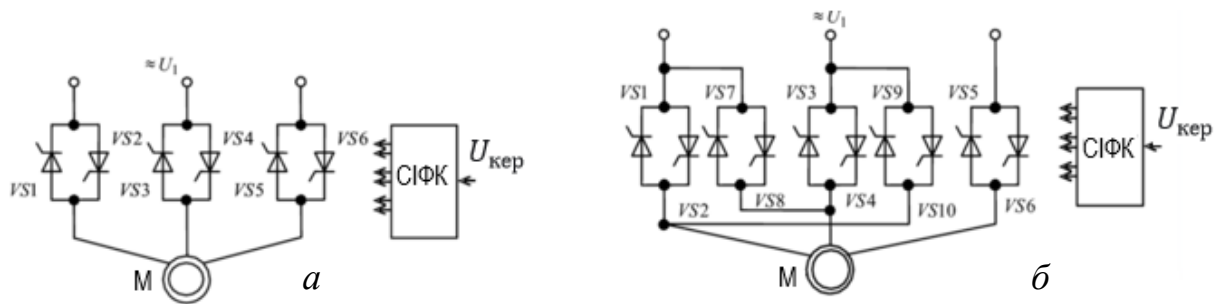


Рис.2.10. Схема керування асинхронним двигуном перетворювачами різної складності

- а - нереверсивний тиристорний регулятор напруги
- б - реверсивний тиристорний регулятор напруги

На рис.2.10 б показана схема силових кіл реверсивного тиристорного регулятора напруги. Як видно, додається ще дві пари попарно – паралельно ввімкнених тиристорів.

Такі перетворювачі дають можливість регулювання діючої напруги на виході (і потужності кіл статора) незалежно від частоти. Але вони мають суттєві недоліки а) обмежене регулювання вихідний напруги; б) порівняно велика кількість силових вентилів і складна схема керування ними; в) невисокий коефіцієнт потужності — максимальне значення близько 0,8 [8].

Якщо виникає потреба у зміні частоти напруги живлення, використовують схеми тиристорних перетворювачів, показані на рис. 2.11

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

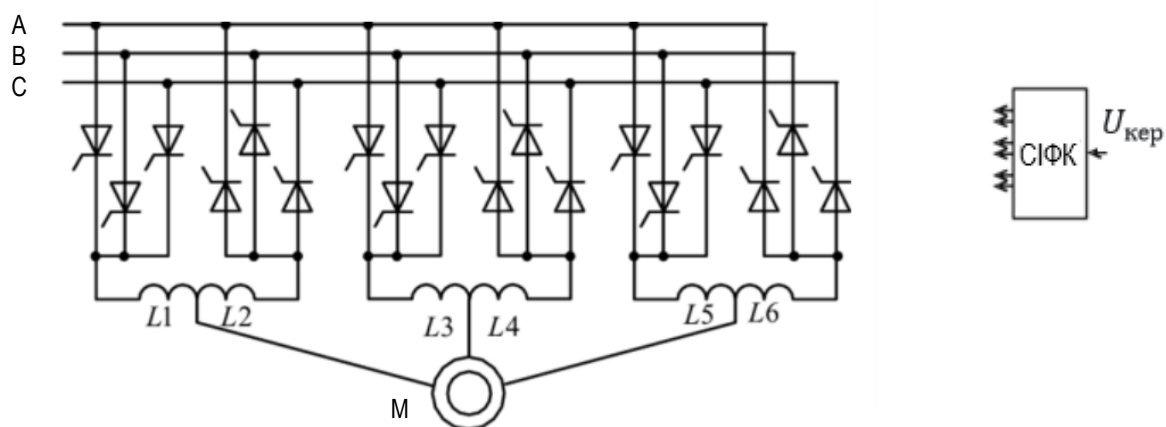


Рис.2.11. Схема тиристорного перетворювача частоти

Основою силової схеми ПЧ з безпосереднім зв'язком є реверсивний тиристорний перетворювач. Зниження частоти напруги на виході перетворювача забезпечується циклічною зміною кута (фази) відкриття тиристора.

Очевидний недолік такої системи керування частотою – порівняно велика кількість силових вентилів і складна схема керування ними.

Крім того, звертають увагу на значні обмеження у регулюванні величини вихідної напруги та невисокий коефіцієнт потужності – максимальне значення порядку 0,8.

Система керування ТРН-АД має високу вартість у порівнянні з релейно-контакторною, але відрізняється значними перевагами: тиристорні системи керування мають значно більший ресурс спрацювань, відсутні контактні проблеми (окислювання підгорання та інші), більші можливості регулювання, зокрема забезпечує повільний пуск.

Існує широке коло технологічних процесів, які не потребують складного керування режимами роботи електромеханічного обладнання, а потребують тільки згладжування параметрів у перехідних процесах запуску та відключення, а також захисту від аварійних перевантажень. У таких ситуаціях система керування ТРН-АД за своїми можливостями є достатньою, і на даний час має найширше використання [10].

					<i>КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

ПЧ-АД – це система останнього покоління, є найбільш перспективною і має суттєві переваги у порівнянні з системою ТРН-АД. Вона дає можливість не тільки плавного пуску електродвигуна, але і широкий діапазон автоматичного регулювання технологічними режимами роботи електромеханічного обладнання [9].

ПЧ для асинхронних двигунів забезпечують роботу електроприводу з коефіцієнтом потужності більше 0,95 ($\cos\varphi_{\text{кном}} \geq 0,95$), отже, у випадку застосування ПЧ, індивідуальної установки для компенсації реактивної потужності двигуна не потрібні.

ПЧ дозволяє регулювати частоту обертання двигуна електроприводу вентилятора у широкому діапазоні, зберігаючи (або навіть підвищуючи) якісні та кількісні характеристики його роботи. Одною з характерних рис є суттєве зниження питомих витрат електроенергії [10].

Особливе місце у системі управління електроприводами змінного струму займають перетворювачі частоти, які дозволяють плавно регулювати швидкість обертання ротора двигуна. Плавний розгін двигуна і відсутність пускових струмів дозволяє використовувати їх у складі приводів з підвищеними вимогами до динаміки і перевантаження, наприклад, для ліфтів та підйомників, сепараторів, гомогенізаторів, пакувальних машин.

За своїми технологічними властивостями існуючі ПЧ розділяються на дві великі групи зі скалярним регулюванням швидкості і векторним регулюванням швидкості.

Скалярне регулювання забезпечує виконання умови $U/f = const$; воно організоване відносно зрозумілим способом з використання технології широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

Векторний метод регулювання роботи електроприводу базується на тому, що датчики Хола контролюють обертання вектору індукції магнітного поля в порожнині статора і електронним способом відслідковується щомиті зміна взаємної орієнтації вектору магнітного поля статора і вектору індукції поля,

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

індуктованого в обмотках ротора. Достатньо складне схемотехнічне рішення дозволяє управляти швидкістю обертання ротору так, щоб оптимальне ковзання підтримувати постійним. Векторний метод більш складний і для розуміння, і для схемотехнічної реалізації, але найбільш застосовуваний в системах автоматичного регулювання. ПЧ із скалярним регулюванням швидкості обертання ротору АД в декілька разів дешевші за ПЧ з векторним регулюванням.

Система управління струмом статора в перетворювачах частоти із скалярним регулюванням може бути реалізована на електронному пристрої, структурна схема якого показана на рис.2.12, вона отримала умовну назву із проміжним контуром постійного струму.

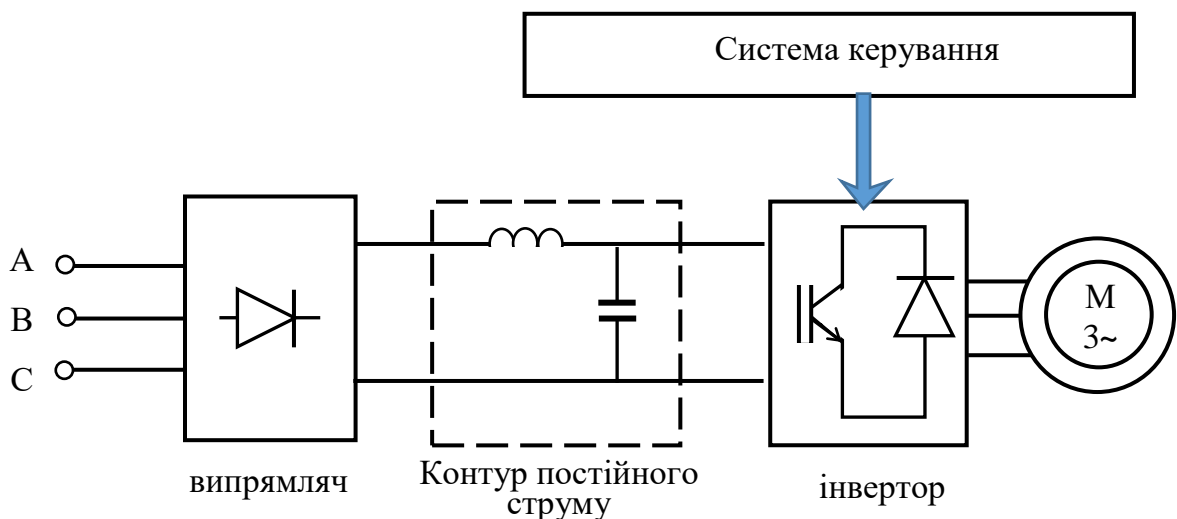


Рис.2.12 - Функціональна схема перетворювача частоти (ПЧ) з проміжним контуром постійного струму.

Змінна напруга мережі перетворюється у постійну напругу за допомогою діодного 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.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Саме в інверторі реалізований метод високочастотної широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Сутність методу ШІМ пояснює рис.2.13. Синусоїдна напруга частотою 50 Гц, що за стандартом подається на навантаження, може бути представлена у вигляді ступінчастої функції, як показано на рис.2.13 а. Тобто один період стандартної синусоїди замінений послідовністю П-імпульсів, пікові значення яких зумовлюють еквівалентну потужність на навантаженні. З точки зору електроніки та схемотехніки більш технологічним є створення послідовності П-імпульсів з однаковим піковим значенням, але різними за тривалістю τ_i^* , як показано на рис.2.13 б. При цьому період синусоїди залишається незмінним, і таким чином частота напруги і струму, а також потужність на навантаженні залишаються незмінними.

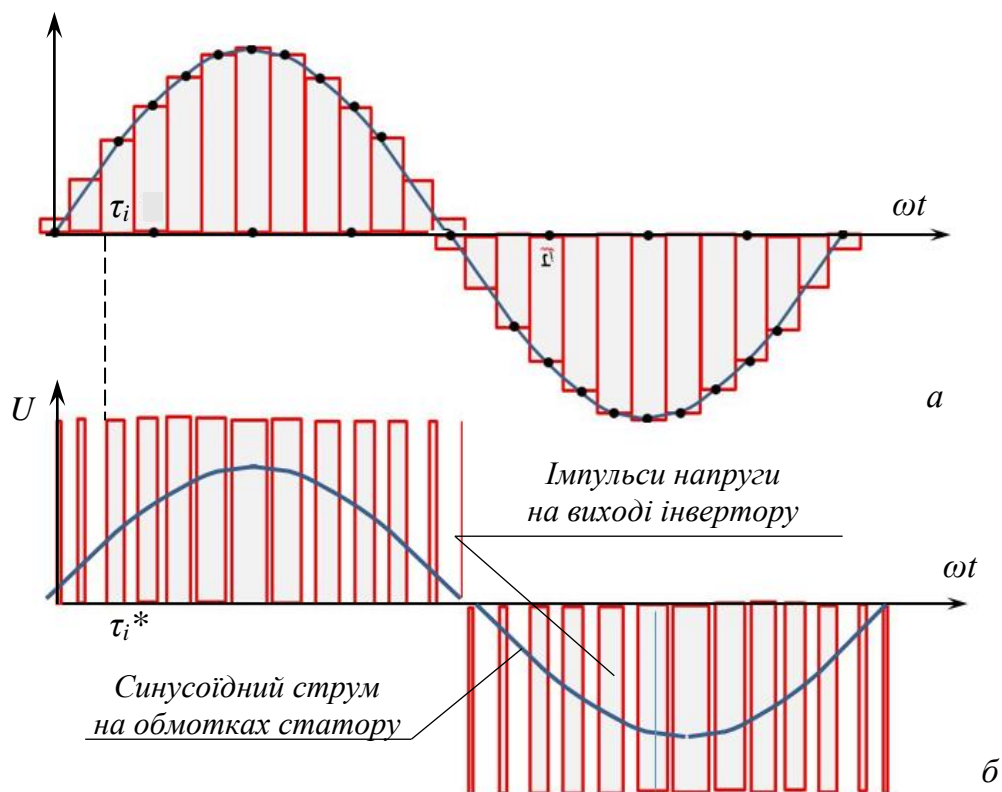


Рис.2.13 – До пояснення принципу широтно-імпульсної модуляції

Якщо схемотехнічним способом підвищити ширину імпульсів удвічі, а напругу відповідно зменшити удвічі, отримаємо новий сигнал «синусоїдної» напруги з частотою вдвічі меншою. Таку технологію реалізує перетворювач частоти, принципова схема якого показана на рис.2.12.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10

Арк.

42

Формат А4

На вхід інвертора (рис.2.12) подається постійна напруга, яка перетворюється на послідовність П-імпульсів, частота і скважність яких задається системою керування. Вихідний сигнал перетворювача – це послідовність імпульсів напруги постійної амплітуди і змінної тривалості (рис.2.13 б). Така імпульсна напруга на індуктивному навантаженні, яким є обмотка статора, формує струми синусоїдальної форми. За такою технологією можливий діапазон регулювання частоти від нуля до декількох тисяч герц.

Для даного проекту необхідно на початку розгону ротора запобігти формуванню імпульсів початкового струму статора. Відповідно з використанням ПЧ такого типу вирішуємо поставлену задачу зменшення пускового струму, відповідно зменшення навантаження на зовнішню мережу і зменшення навантаження на механічну конструкцію вентилятору.

При виборі перетворювача частоти керуємося такими міркуваннями:

- це має бути надійний виробник;
- продукція якого у даний час представлена на ринку України;
- у вільному доступі (у мережі інтернет) можна отримати детальну інструкцію по монтажу, по підключенню силових кіл та системи управління, а також обмеження по умовам використання,

Далі при виборі частотного перетворювача спираємося на параметри проєктованого електроприводу:

- він має керувати роботою трифазного навантаження;
- має підключатися до стандартної трифазної мережі;
- має бути розрахований на паралельну роботу двох вентиляторів (система вентиляції припливно-відточна), тобто
 - а) його розрахункова потужність має бути не меншою ніж подвоєна потужність керованого обладнання ($2,2 \cdot 2 = 4,4$ кВт),
 - б) максимально допустимий струм не менший ніж подвоєний лінійний струм двигуна, що працює у стаціонарному режимі ($5,3 \cdot 2 = 10,6$ А) .

					КРБ.EMтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Таким вимогам задовольняє перетворювач частоти марки **ABB ACS310-03E-13A8-4 3ф 5.5 кВт 12.5А**. Нижче в таблиці приведені його параметри [11]

Таблиця 2.4. Номінальні параметри ABB ACS310-03E

Компанія ABB, засновник	шведсько-швейцарська компанія
Країна виробник	Фінляндія
Номінальна потужність	5,5 кВт
Номінальний струм	12,5 А
Підключення до мережі: номінальні параметри, допустимі відхилення	3х380 В, +10%, -15%, 50(60) Гц ± 2% (із заземленою або ізольованою нейтраллю)
Вихідна напруга	3х(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, при якому електропривод зберігає працездатний стан	- 40%
ABB ACS310-03E-13A8-4 3ф 5.5 кВт 12.5А частотний перетворювач: продаж, ціна у Києві. Перетворювачі частоти від "Інтегровані Водні Технології ТОВ" - 1893660705 (shop-iwt.com.ua)	
Ціна 2024 р. 22695 грн	



Рис.2.14 – зовнішній вигляд ПЧ типу ACS310 [11]

Допускає паралельне підключення декількох двигунів

На сайті продавця є необхідні інструкція

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

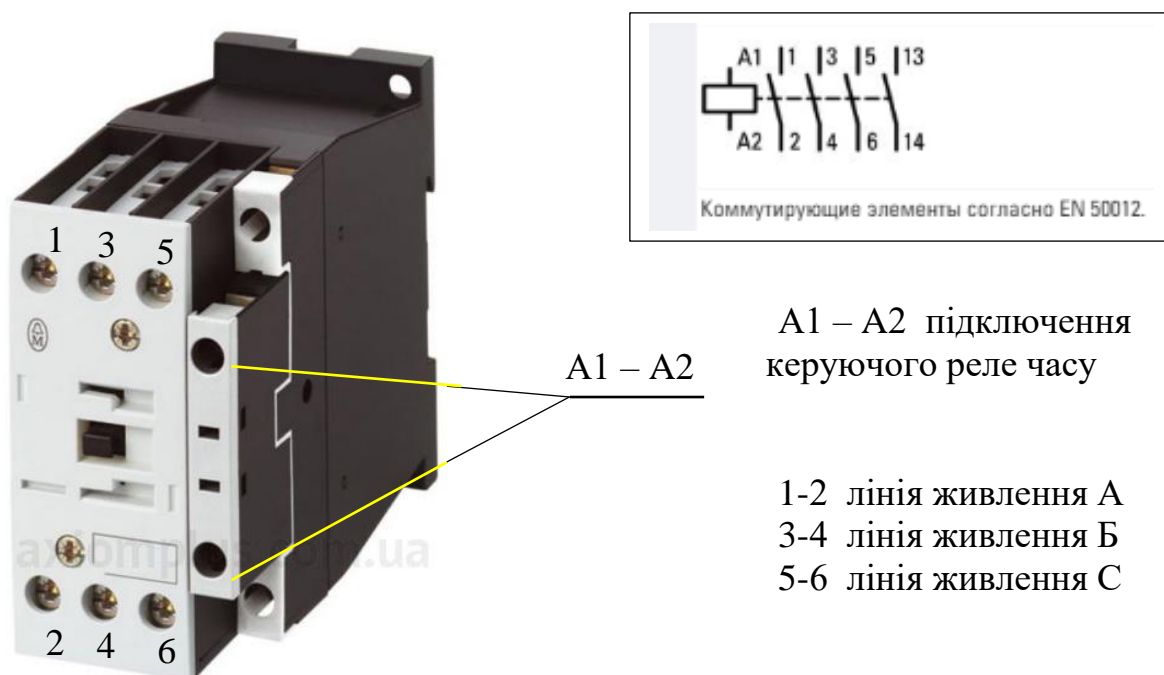
2.4.2. Вибір керованого силового контактору 2. У даному проекті вибір пускача 2 є важливою складовою розробки електроприводу, тому що режим запуску електродвигунів має керуватися у відповідності до технологічного режиму з періодом 8 годин.

Близькими за своїми технічними характеристиками є такі виробниці
Контактор Schneider Electric TeSys 3P, 18A, HO+H3 (вироб. Франція,
ц. 2097 грн) <https://axiomplus.com.ua/kontaktery/product-65648/>

Контактор TNSy KMM11810 18A 230В/AC3 1NO (вироб. Україна,
ц. 236 грн) https://axiomplus.com.ua/kontaktery/product-138313/?gad_source=1

Контактор Eaton (Moeller) DIL-DILM17-10 (277004) (вироб. США ,
ц. 1 285,08 грн) https://luxelectro.com.ua/uk/kontaktor-eaton-dilm17-10-17a-1no-230v-50gts-detail.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwr7ayBhAPEiwA6EIGxP2OgZNTI8d0FRRR6_c5IuDgVtL_aJK9NHDhRsHuICPMMmsgCG93NRoC6ngQAvD_BwE

Перевага надана контактору Eaton (Moeller), він адаптований до реле часу тої ж фірми, яке задає режим роботи технологічного устаткування [12]. Крім того на сайті представлений паспорт та інструкція щодо підключення та умов роботи пропонованого пристрою.



A1 – A2 підключення керуючого реле часу

1-2 лінія живлення А
3-4 лінія живлення Б
5-6 лінія живлення С

Рис.2.15 – зовнішній вигляд контактору Eaton (Moeller) DIL-DILM17-10 та гнізда для підключення ліній живлення

					КРБ.EMmaM.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

2.4.3. Вибір програмованого реле часу. У даному електроприводі програмоване реле часу призначено для створення оптимальних режимів роботи навантаження, системи вентиляції виробничого приміщення. При виборі програмованого реле часу орієнтуємося на такі характеристики:

- надійний виробник, продукція якого у даний час представлена на ринку України;
- у вільному доступі (у мережі інтернет) можна отримати детальну інформацію щодо вигляду лицьової панелі, розташуванню гнізд для підключення об'єктів керування, регуляторів параметрів керування, а також обмеження по умовам використання, та параметрів лінії живлення пристрою;
- для організації оптимальних режимів роботи навантаження має працювати в режимі генератора П-імпульсів регульованої періодичності та тривалості;
- параметри імпульсів мають регулюватися в діапазоні (0÷24) години, що відповідає виробничому циклу;
- механічна система має забезпечити керування пускачем, розрахованим на струми навантаження до 12 А.

Аналіз продуктів, представлених на ринку України, показав, що даним вимогами задовольняє **реле часу Eaton ETR2-44.**

Таблиця 2.5. Паспортні дані реле часу Eaton ETR2-44

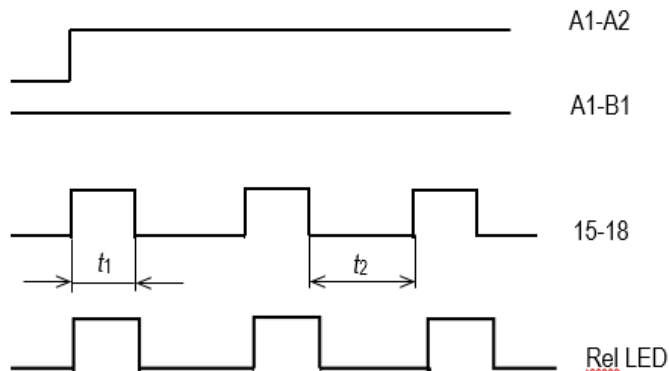
Eaton Corporation plc (1911 р)	американська корпорація, виробник електротехнічного та гідравлічного обладнання
Moeller Holding GmbH (1899 р) Асоційована з Eaton Corporation plc у 2007 р	Німецька компанія, виробник низьковольтного електротехнічного обладнання та засобів автоматизації
Монтаж	на шину DIN
Електричне з'єднання	різьбові клеми
Напруга живлення, В	24÷240 (AC)
	24÷48 (DC)
Кількість режимів роботи	1

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

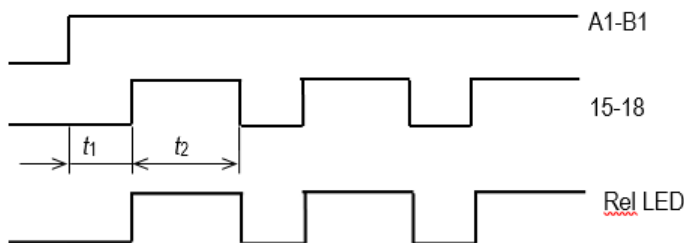
Електричні параметри виходу 1	250В АС / 3А
Діапазони регулювання T_1 та T_2	min 0,05 с; max 100 годин
Умови навколишнього середовища:	робоча температура -10 ...+60°C,
Дистриб'ютер по Україні ООО "Юнисет"м. Біла Церква, вул. Леваневського, 58, оф.170 https://uniset.ua/catalog/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwr7ayBhAPEiwA6EIGxCzxK87PH_HQ87uKEmrkbl1yR73545YWDpfOLqvMfb4kZzAqn9I50BoC3fkQAvD_BwE Ціна 2024 р. 2 642,22 грн	



df



Функція 44. Генератор імпульсів. Запуск електродвигуна одночасно з підключенням реле



Функція 44. Генератор імпульсів. Початок роботи з паузи. Запуск електродвигуна через час t_1 після включення реле

Рис.2.16 – зовнішній вигляд реле часу Eaton ETR2-44

Габаритні розміри 17,5x70x58мм

Клеми з'єднань з зовнішнім обладнанням на лицьовій панелі

Додатковий позитивний момент: продукція даного виробника

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

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

2.4.4. Вибір захисного обладнання та розрахунок параметрів кабелю живлення

При розрахунку перерізу жил кабелю живлення враховуємо, що у застосованій системі вентиляції одночасно працюють два електродвигуни з номінальним струмом $I_{\text{НОМ}} = 5,3$ А. Для роботи частотного перетворювача обрали номінальний струм $I_{\text{НОМПЧ}} = 12$ А, це саме значення використовуємо для розрахунку проводу та ізоляції кабелю живлення.

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 [13] і визначаємо мінімально допустимий переріз жили $S = 1 \text{ мм}^2$. 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, прийнявши, довжина кабелю 100 м.

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

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Визначаємо падіння напруги у відносних одиницях

$$\delta = \frac{\Delta U}{U_{\text{ном}}} = \frac{24.6}{380} = 0,064 \approx 6 \%$$

і становить 6% від напруги живлення, що є припустимим для даної системи.

Вибираємо кабель чотирижильний гнучкий марки ТУ ВВГнг-нд 4х1.5 (ТУ) [12]

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

Технічні характеристики:

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

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 [12].

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**, з наступними технічними характеристиками:

- номінальна напруга 380 В;
- номінальний струм 12 А.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

3. Імітаційне моделювання електроприводу в середовищі *Simulink*

Імітаційне моделювання дозволяє будувати комп'ютерну модель процесу, яка при коректному введенні розрахованих параметрів обладнання та всебічному урахуванні умов протікання процесу відображає, як цей процес відбуватиметься реально при зміні внутрішніх параметрів або зовнішньому впливі. Взагалі, імітаційне моделювання - це окремий випадок математичного моделювання [14,15]. 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).

Для створювання моделі електроприводу необхідно обрати певні піктограми. Найпростішою моделлю є модель для дослідження параметрів прямого пуску, показана на рис. 3.1.

3.1. Моделювання прямого пуску асинхронного двигуна (АД)

Імітаційна модель має складатися віртуальних моделей джерела живлення, асинхронного двигуна із заданими параметрами, імітатора механічного навантаження, вимірювальних приладів.

Результат моделювання схеми для дослідження асинхронного двигуна показаний на рис.3.1. Піктограма кожного об'єкту знаходиться в окремому розділі бібліотеки *Simulink*. Складові віртуальної моделі позначені цифрами, у тексті надається їх технічний сенс та вказаний шлях для активації на робочому полі відповідної піктограми.

1 - джерело змінної трифазної напруги *Source* (бібліотека *Simulink/ Sources*)

2 - вимірювач трифазної напруги та струму *Three-Phase V-I Measurement*

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4,5, 7 - блоки **SCOPE** для спостереження зміни струмів статора і ротора, а також швидкості і моменту асинхронної машини (бібліотека *Simulink/Sinks*);

6, 8 - блоки **DISPLAY** для кількісного представлення струму статора, електромагнітного моменту і швидкості машини (бібліотека *Simulink/Sinks*).

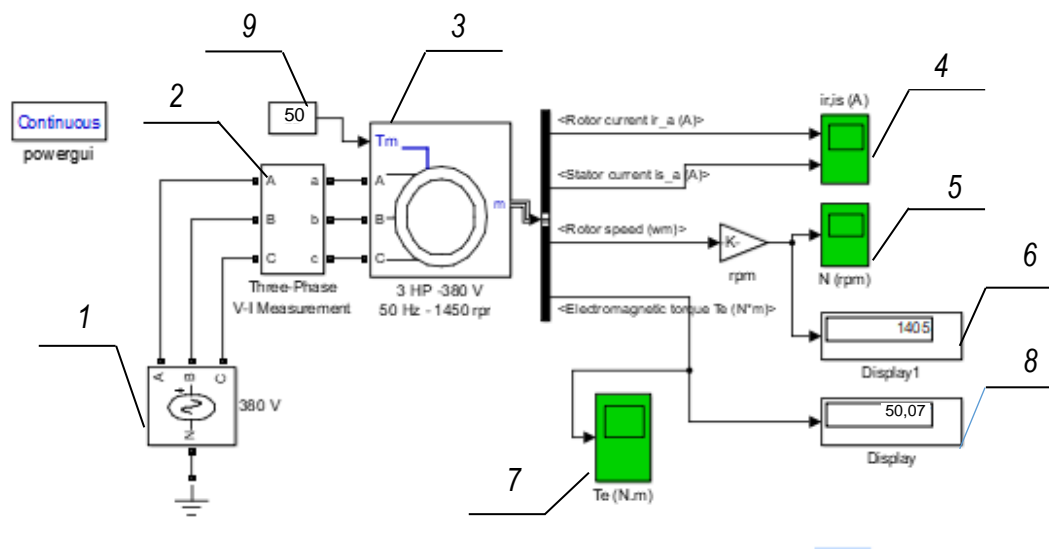


Рис.3.1. Схема моделі для дослідження прямого пуску АД

Центральною складовою імітаційної моделі (рис. 3.1) є трифазний асинхронний двигун 3. Щоб його «здобути» і перетягнути на робочий простір, у головному каталозі знаходимо бібліотеку Simscare, через неї активуємо SimPowerSystems. Після натискання відповідної піктограми виходимо на бібліотеку Machines, у якій можна знайти потрібний для дослідження двигун.

3.2. Розрахунок параметрів схеми заміщення АД. Для нашої моделі обираємо Asynchronous Machine і активуємо вікно налаштування Block Parameters: Asynchronous Machine (mask). Параметри схеми заміщення, необхідні для створення імітаційної моделі асинхронного двигуна, можна розрахувати за представленим нижче алгоритмом. Характерно, що всі необхідні параметри можуть бути розраховані на базі параметрів двигуна, представлених в паспорті.

Для визначення параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором рекомендовані наступні формули [15] :

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

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:

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

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	Номинальна потужність	2,2 кВт
U	Напруга мережі живлення	380 В
I_H	Лінійний струм фази	5,3 А
f_1	Частота	50 Гц
$\eta'_{\text{ном}}$	ККД	0,87
$\cos \varphi'$	Коефіцієнт потужності	0,86
S_H	Номинальне значення ковзання	0,060
$\Pi_{\text{мех}}$	Механічні втрати	(0,01÷0,05) P_H
$M_{\text{макс}}$	Максимальний обертовий момент	39,9 Н·м
k_I	Коефіцієнт пускового струму	7
C	Коефіцієнт приведення	1,01 ÷ 1,05

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

3.2.1. Активний опір фази обмотки ротора

Розраховуємо $P_{\text{мех}} = 0,03 \cdot P_{\text{H}} = 2200 \cdot 0,03 \text{ Вт} = 66 \text{ Вт}$

$$R_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{(P_{\text{H}} + P_{\text{мех}})}{I_{\text{H}}^2 \cdot \frac{1 - S_{\text{H}}}{S_{\text{H}}}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{2266}{26,01 \cdot \frac{1 - 0,060}{0,060}} = \frac{29,04}{0,94} \cdot 0,060 = 1,85 \text{ Ом}$$

3.2.2 . Активний опір фази обмотки статора

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

$$R_s = \frac{380 \cdot 0,86 \cdot (1 - 0,87)}{5,3} - C^2 \cdot 1,85 - \frac{66}{3 \cdot 26,01}$$

Приймаємо, що $C = 1,03$, тоді $C^2 = 1,08$

$$R_s = 8,016 - 2,0 - 0,846 = 5,166 \text{ Ом}$$

3.2.3. Індуктивність фази обмотки статора:

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

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

$$L_s = \frac{380}{314 \cdot 5,3 \sqrt{0,294} - \frac{2}{3} \cdot \frac{314 \cdot 98,5}{2 \cdot 380} \cdot 0,192} = \frac{380}{902 - 5,21} = 0,423 \text{ Гн}$$

3.2.4. Приведена індуктивність розсіювання в обмотці ротора, цей

параметр, еквівалентний індуктивності фази обмотки ротора:

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

$$L_{sp} = L_{rp} = \frac{380}{628(1 + 1,08) \cdot 7 \cdot 5,3} = 0,0083 \text{ Гн}$$

3.2.5 Індуктивність в контурі намагнічування.

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

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

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Розраховані значення заносимо в блок параметрів асинхронного двигуна і на базі цієї піктограми будуємо схему для дослідження параметрів двигуна при прямому пуску (рис.3.1).

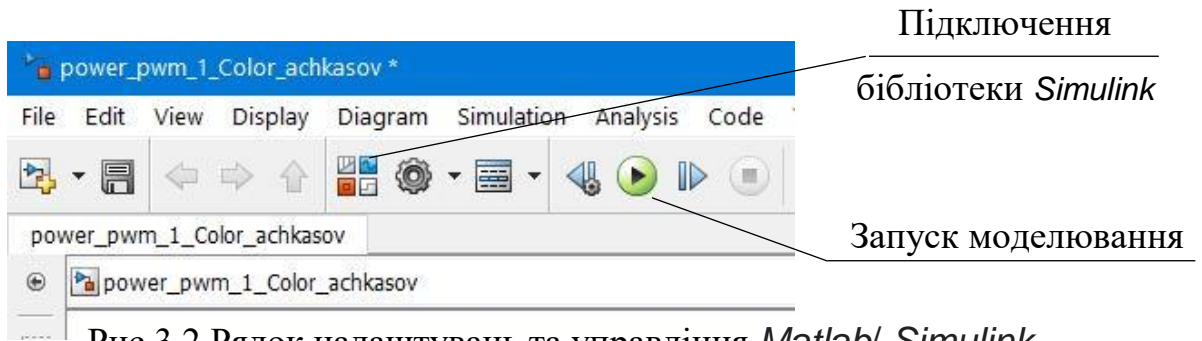


Рис.3.2 Рядок налаштувань та управління *Matlab/ Simulink*

Після запуску моделювання отримуємо зміну струмів статора і ротора (рис.3.3).

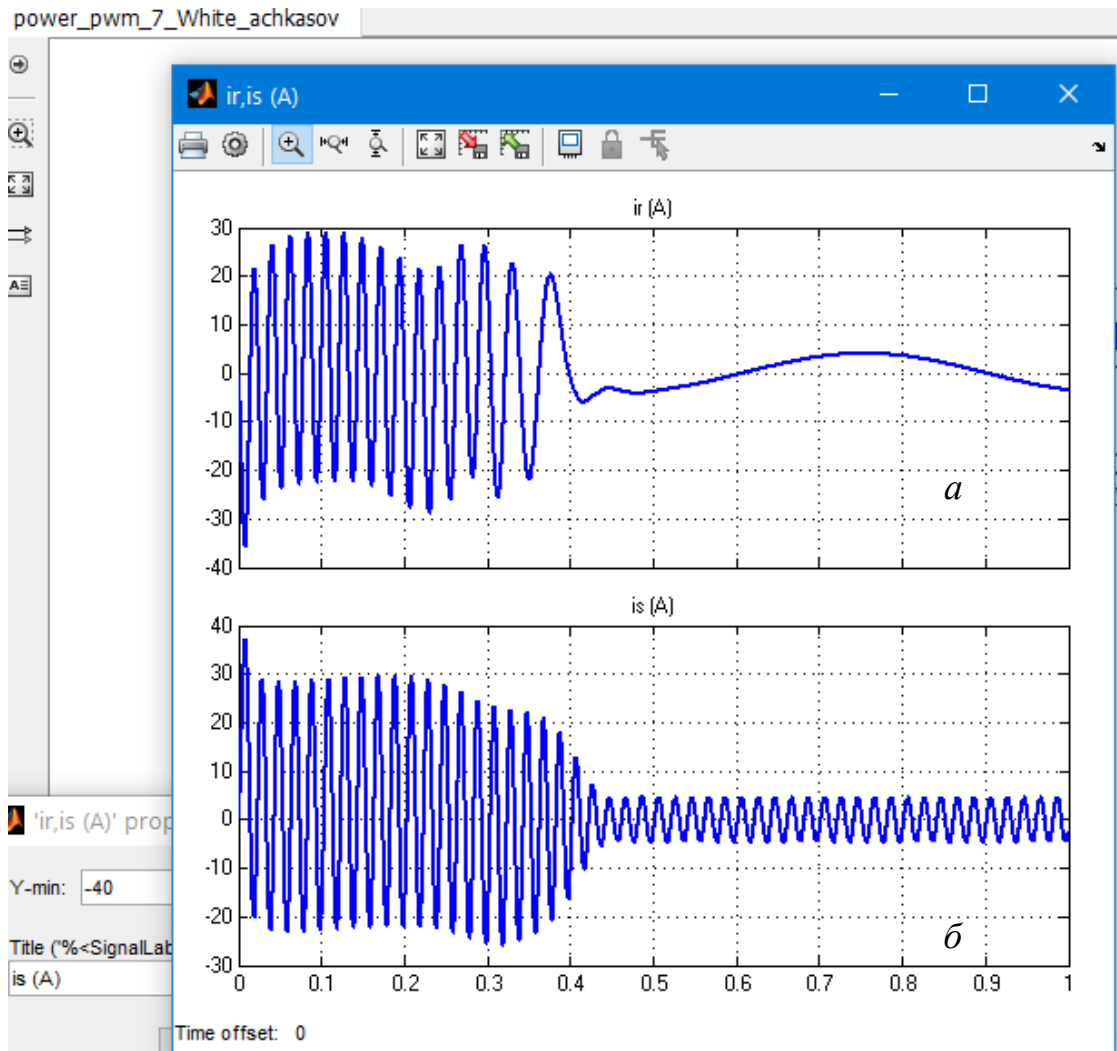


Рис.3.3 Зміна струму обмотки ротора (а) та статора (б)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10

Арк.

54

Формат А4

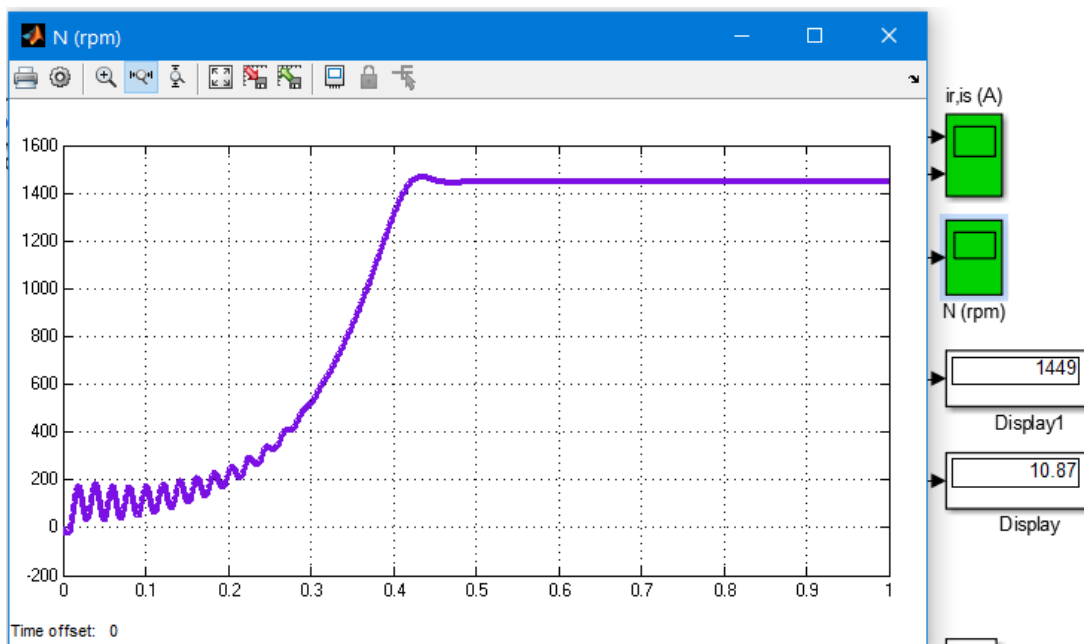


Рис.3.4. Розгін ротору АД до номінальної частоти обертання

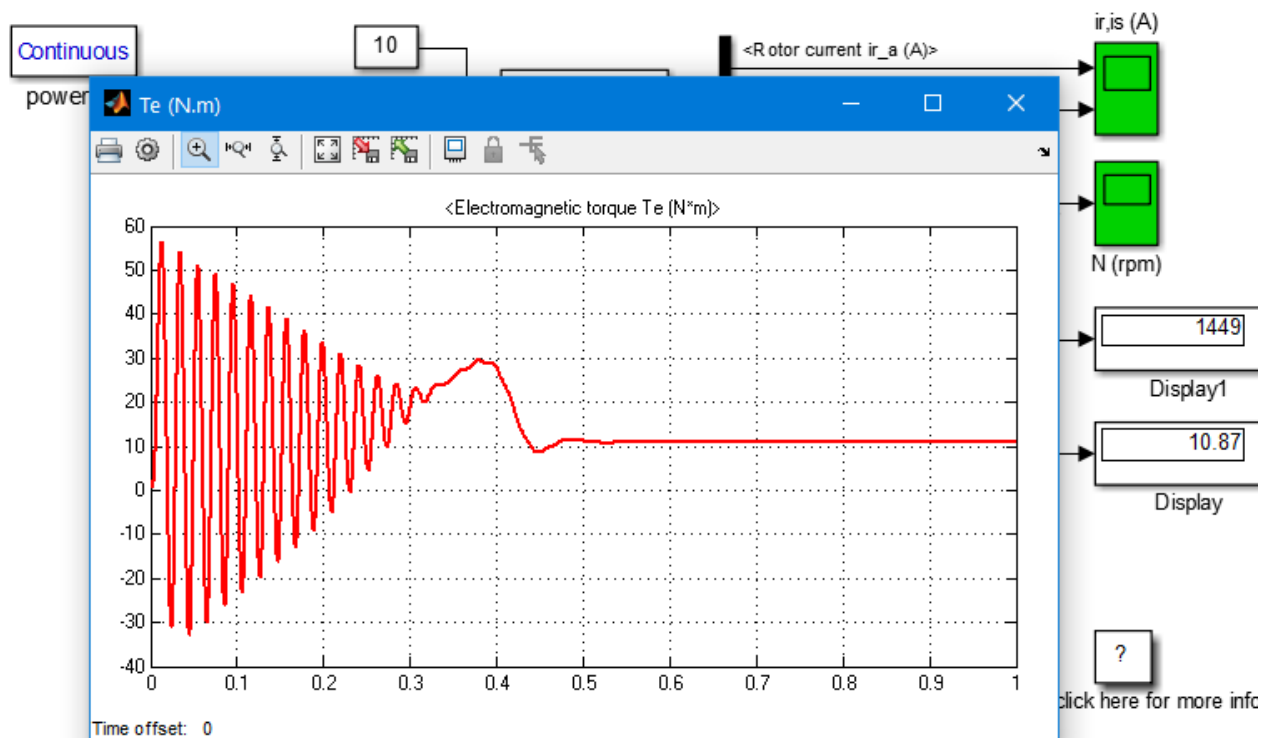


Рис.3.5. Зміна моменту на валу двигуна у перехідному процесі.

Як видно, в момент прямого пуску струми статора і ротора у 6-8 разів перевищують свої номінальні значення. Початковий імпульс електромагнітного моменту у 5.5 разів перевищує задане порогове значення.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10

Арк.

55

Формат А4

3.3. Моделювання пуску електродвигуна з використанням ПЧ. На

рис.3.6 показана схема для запуску асинхронного двигуна, на вхід якого подається напруга, модульована з використанням ШІМ- технології.

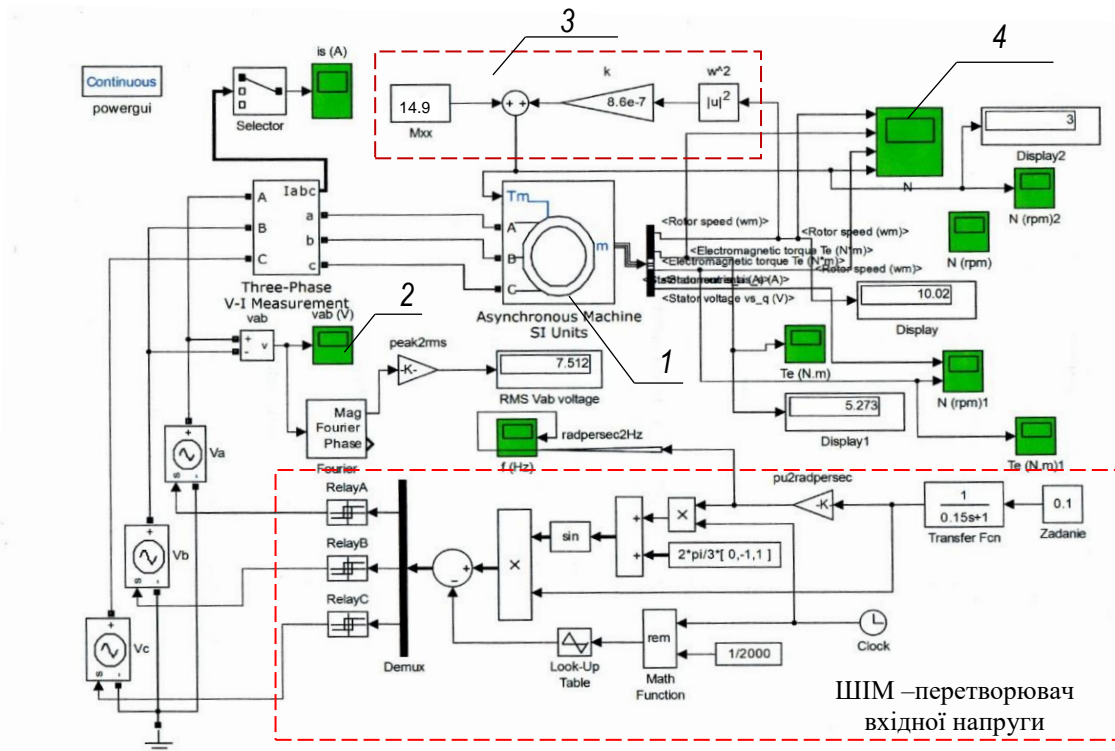


Рис.3.6. Схема моделі для дослідження керованого електроприводу ПЧ-АД
 1 – асинхронний двигун, 2 – осцилоскоп для спостереження П-імпульсної напруги, 3– ланка зворотного зв'язку для зміни частоти обертання, 4 - осцилоскоп для реєстрації струму статора та електромагнітного моменту, швидкості обертання ротору у перехідному процесі

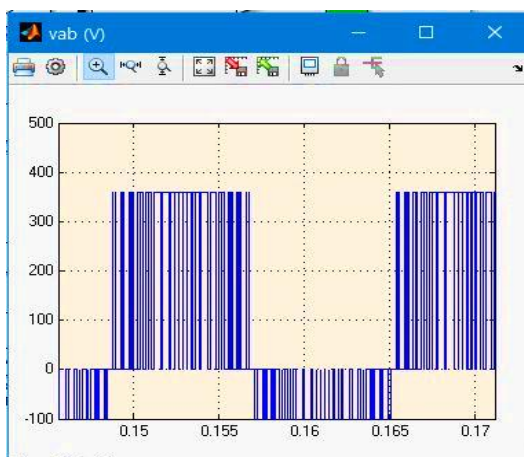


Рис.3.7. Осцилограма вхідної напруги

ШІМ-перетворювач вхідної напруги формує послідовність П-імпульсів, на рис.3.7 показана їх осцилограма з осцилоскопу 2. Частота слідування цих імпульсів на 2 порядки перевищує стандартну частоту мережі живлення.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10

Арк.

56

Формат А4

На рис.3.8 показані осцилограми зміни параметрів електроприводу у перехідному процесі при запуску електродвигуна при стандартній частоті напруги 50 Гц:

А) зростання швидкості обертання ротору; частота обертання досягає 1500 об/хв

Б) зміна електромагнітного моменту

В) зміна струму статора та досягнення ним номінального значення 5,3 А

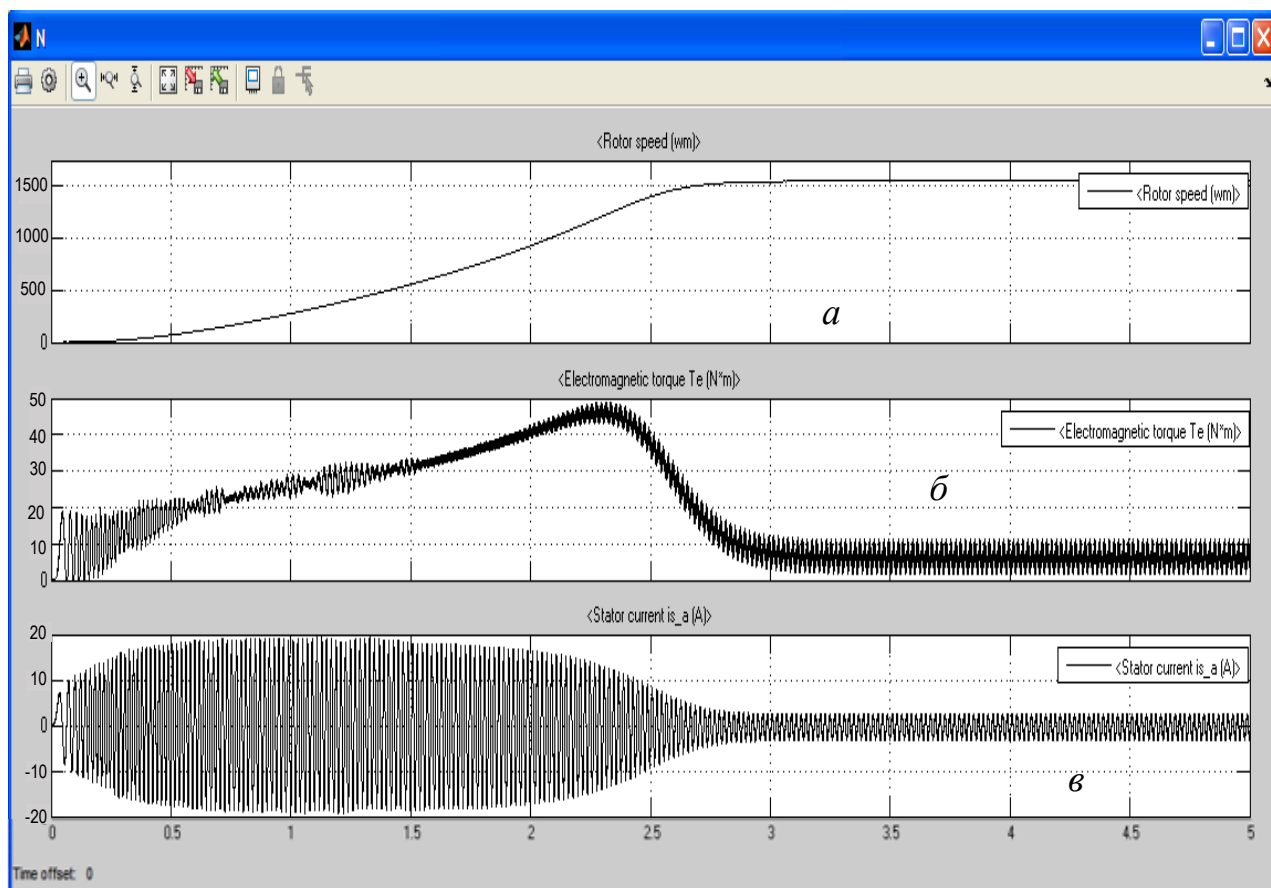


Рис.3.8. Осцилограми перехідних процесів при ШПП – перетворенні вхідної напруги асинхронного двигуна на частоті 50 Гц

a – зростання швидкості обертання ротору;

б – зміна електромагнітного моменту,

в – зміна струму статора

Якщо порівнювати залежності рис.3.8 та 33-35 видно, що ШПП- керування електроприводом створює більш «комфортні» та безпечні умови для роботи електромеханічного обладнання та мереж живлення. Час перехідного процесу подовжується; початковий імпульс струму відсутній, перевантаження по струму відбувається не довше, ніж 2 сек, що допускає обраний перетворювач частоти.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10

Арк.

57

Формат А4

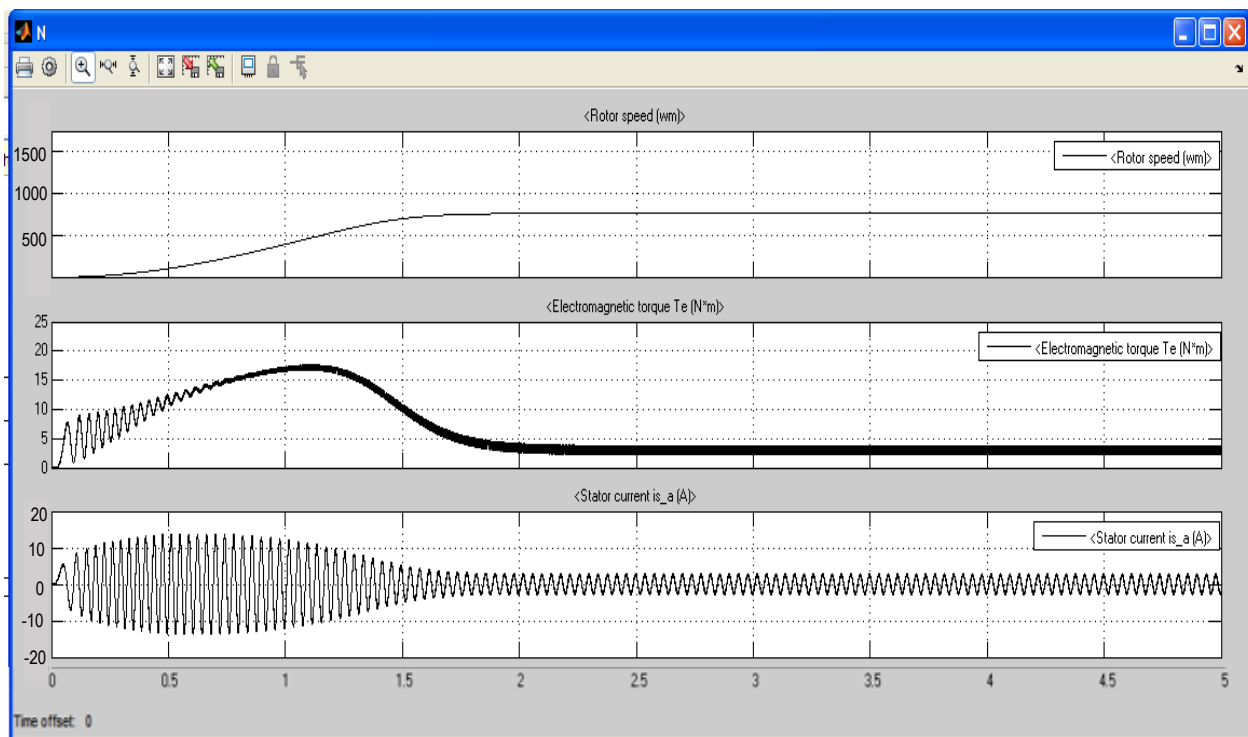


Рис.3.9. Осцилограми перехідних процесів при ШПМ – перетворенні вхідної напруги асинхронного двигуна на частоті 25 Гц
a – зростання швидкості обертання ротору; *b* – зміна електромагнітного моменту, *в* – зміна струму статора

Зменшення напруги вдвічі зумовлює вдвічі меншу частоту обертання валу двигуна. Тобто ШПМ технологія дозволяє достатньо простим способом регулювати частоту у достатньо широкому діапазоні.

Аналіз приведених осцилограм дозволяє зробити такі висновки:

1. При частоті струму 50 Гц перехідний процес закінчується через 3 с; номінальна швидкість 1500 рад/с досягається через 2,5с; струм змінюється в межах 15...5 А, а момент в межах 20...5 Н·м.

Такі значення практично співпадають з номінальними значеннями цих параметрів.

2. При зменшенні частоти струму від 50 Гц до 25 Гц час перехідного процесу суттєво зменшується, номінальна частота обертання 750 об./хвил досягається протягом (1,5 – 2) с; максимальні значення перехідного струму 10-12 А.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10

Арк.

58

Висновки за розділами 2-3.

1. Для вентиляції виробничого приміщення біотехнологічного виробництва обґрунтовано використання припливно-відточної системи вентиляції.
2. Визначена потужність кожного з вентиляторів, що забезпечує необхідний розхід і кратність вентиляційної системи становить. За представленою кінематичною схемою електроприводу обрані електродвигуни для приводу припливно-відточної системи вентиляції, їх номінальна потужність становить 2,2 кВт і номінальний струм 5,3 А.
3. У спроектованому електроприводі два електродвигуни працюють у синхронному режимі; керування електроприводу забезпечується перетворювачем частоти АВВ ACS310-03E-13A8-4 з номінальною потужністю 5.5 кВт та струмом 12.5А. Параметри такого перетворювача дозволяють одночасне керування двома електродвигунами, що працюють в однаковому режимі.
4. Враховуючи довготривалий технологічний процес і циклічне вмикання – вимикання системи вентиляції, підібране реле часу, що працює в режимі генерації П-імпульсів керованої періодичності і скважності.
5. Розраховані та вибрані основні силові елементи системи регульованого електроприводу, вибрана апаратура керування та захисту.
6. Проведено дослідження системи електроприводу на електронній моделі в середовищі Matlab/Simulink. Показано, що ШПП-керування електроприводом створює більш «комфортні» та безпечні умови для роботи електромеханічного обладнання та мереж живлення. Час перехідного процесу подовжується; початковий імпульс струму відсутній, перевантаження по струму відбувається не довше, ніж 2 сек, що допускає обраний перетворювач частоти.

					<i>КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Виконання монтажу електроприводу вентиляційного обладнання достатньо складний процес, має відповідати технічним нормам розташування, кріплення та порядку дій, регламентованих відповідними інструкціями від виробника.

Заходи безпеки та організація охорони праці при виконанні монтажних і ремонтних робіт, а також впродовж експлуатації електроприводу вентиляційного обладнання регламентовано «Законом про працю» [16,17] та прив'язаними до нього правилами та інструкціями, серед них

"Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів "(ПТЕ);

Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів "(ПТБ);

"Правила 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).

4.1. Монтажні роботи. До самостійної роботи по монтажу електрообладнання вентиляції, кондиціонування повітря допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд і не мають протипоказань, пройшли навчання безпечним методам і прийомам роботи, склали іспит і отримали посвідчення.

Повторна перевірка знань монтажниками безпеки праці проводиться щорічно.

Монтажники повинні проходити наступні інструктажі по охороні праці:

- а) ввідний - при прийомі на роботу;
- б) первинний - на робочому місці;
- в) повторний - не рідше за один раз в три 3 місяці;

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

г) позаплановий - при порушенні вимог безпеки праці, що привело або могло привести до аварії або нещасного випадку; при зміні технологічного процесу, конструкції електролебідки або чинних нормативних актів по охороні праці; при перерві в роботі за фахом більше 60 календарних днів;

д) цільовий - при виконанні разових робіт, безпосередньо не пов'язаних з обов'язками за фахом, ліквідації аварії, стихійного лиха, проведенні робіт, на які оформлюється спеціальна документація - допуск, дозвіл і інші документи.

Під час виконання монтажу електроприводу або виконанні ремонтних робіт місце їх проведення має бути із захисною огорожею, облаштованою забороняючими знаками (повідомленнями) для забезпечення персоналу, що не приймає участі у монтажних або ремонтних роботах.

Після закінчення монтажу слід скласти акт про відповідність виконаних робіт до проектної документації, після чого розпочинається пуск і налагодження режиму роботи вентиляції виробничого приміщення.

4.2. Охорона праці і техніка безпеки при експлуатації електроприводу.

Обслуговування електроприводу, що працює у номінальному режимі, передбачає такі положення техніки безпеки.

Має бути облаштоване робоче місце оператора для обслуговування електромеханічного обладнання і має бути організовано чергування оператора-електрика, який брав участь у технологічному процесі по монтажу електромеханічного обладнання.

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 електродвигунів та інших складових електроприводу, систем візуального контролю за автоматичними сигналами про критичні або аварійні режими роботи, систем аварійного відключення агрегату.

На робочому місті мають бути інструкції щодо дій під час аварійних ситуацій різного характеру (пожежа, повітряна тривога, затоплення та інш.)

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На робочому місці мають бути а) графік чергувань, затверджений керівником підрозділу. та б) журнал зміни обслуговуючого персоналу.

Категорично заборонено

- порушувати затверджений графік чергувань; бути відсутнім на робочому місці без поважних причин;
- приймати і здавати чергування під час ліквідації аварії та несправностей електроприводу вентиляторів;
- проводити будь - який ремонт електроприводу вентиляційного обладнання під час роботи хоча б одного вентилятора;
- працювати з несправною системою управління, відключеними і заблокованими датчиками, відключеними приладами захисту, при механічному блокуванні обертової складової конструкції вентилятору.

Обслуговуючий персонал **несе відповідальність за порушення інструкцій**, що відносяться до виконуваної ними роботи, в установленому порядку.

Для захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом необхідно:

- забезпечити заземлення електрообладнання (опір заземлюючого пристрою повинен задовольняти «Правилам технічної експлуатації електроустановок»);
- стежити щоб при експлуатації електрообладнання кришки коробок висновків електродвигунів, щити управління були постійно закриті;
- біля блоку управління повинен знаходитися діелектричний килимок з рифленою поверхнею;
- при роботі користуватися тільки інструментом з ізольованими рукоятками і індивідуальними засобами захисту.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

4.3. Охорона праці під час планово-профілактичного ремонту

При технічному обслуговуванні електрообладнання проводять щоденний огляд, що є у компетенції чергового оператора. Але для нормально працюючого технологічного обладнання проводять планово-профілактичний ремонт електрообладнання. Планово-профілактичний ремонт в документації позначений аббревіатурою ППТОР. Система ППТОР полягає у тому, що крім щоденного огляду електроустаткування підлягає плановим профілактичним оглядам, перевіркам, випробуванням та різним видам ремонту, профілактичній заміні провідників з пошкодженою ізоляцією, профілактичною заміною запчастин та інш.). При встановленні графіку ППТОР враховують умови роботи обладнання (підвищена вологість приміщення, температури короткочасно виходять за межі рекомендованих, існують перепади напруги живлення та інш.), а також технічний стан електродвигунів, наприклад ступінь їх зношеності. Огляд і контроль нормативних параметрів проводять у строки, що передбачені ППТОР.

Графік ППТОР укладає керівник енергетичного підрозділу і узгоджує його з головним інженером, головним технологом, керівником підприємства, тому що ППТОР передбачає відключення технологічного обладнання і зупинку технологічного процесу.

Відключення обладнання відбувається за графіком аварійного останову. Персонал, який не приймає участь у пп ремонті, залишає свої робочі місця. Перед підключенням окремих ділянок перевіряють стан технологічного обладнання, повідомляють усіх учасників ремонту про готовність до підключення.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

5. ЕКОНОМІЧНІ ПАРАМЕТРИ ПРОЕКТУ

Дана частина роботи передбачає оцінку ефективності виконаної дослідницької та розрахунково-конструкторської роботи по удосконаленню електроприводу. Модернізація технологічної лінії, або, як в даному проекті, вентиляції виробничого приміщення потребує певних капітальних вкладень. Запровадження такої роботи повинно мати під собою економічне обґрунтування. Капітальні вкладення повинні забезпечити збільшення доходної частини бюджету підприємства і окупність проекту протягом розумного терміну. Далі розраховуємо витратну і доходну складові проекту.

5.1 Розрахунок капітальних вкладень

Розраховуємо капітальні витрати на електроустаткування електроприводу контуру вентиляції, який включає два вентилятори, оснащені електродвигунами, перетворювач частоти який керує синхронною роботою обох вентиляторів. В таблиці 5.1 приведений розрахунок капітальних вкладень на модернізацію системи керування електроприводом. вентилятора.

Таблиця 5.1 Розрахунок капітальних вкладень К

Найменування обладнання	Кошторисна вартість, грн. (у цінах 2024 р)	
	Базовий вар	Новий вар
Система керування РКС-АД	20800	
вентилятор ВЦ 14-46 3,15	13386 x 2	13386 x 2
Двигун в комплекті	26772	26772
перетворювач частоти марки АВВ ACS310-03Е		22695
Контактор Eaton (Moeller) DIL-DILM17-10	1 285,08	1 285,08
реле часу Eaton ETR2-44		2 642,22
теплове реле перевантаження ZB12-12 Eaton	1691 x 2 3382	1691 x 2 3382

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Кабелі	1500	1500
Інші апарати захисту	3200	3200
сенсори та ін	1400	1400
Всього:	57054	58949
Витрати на транспортування (7 %)	3984	4126
Монтаж та налагодження (10%)	5705	5895
Всього капітальних вкладень К	66743	68970

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. Мета проекту оптимізувати використання електроенергії, оптимізувати кількість обслуговуючого персоналу для даної ділянки виробництва, так щоб в результаті впровадження проекту за рахунок зменшення експлуатаційних витрат отримати позитивний економічний ефект.

До експлуатаційних витрат E входять визначені нижче параметри

- Амортизаційні відрахування E_A
- Заробітна плата $E_{ЗП}$ обслуговуючого персоналу (основна, додаткова, нарахування на заробітну плату).
- Витрати на силову електроенергію E_E
- Витрати на поточний ремонт $E_{ПР}$
- Інші витрати $E_{ін}$.

Додавання визначених параметрів дає експлуатаційні витрати

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

У наступних підрозділах розраховуємо окремо кожен складову.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

5.3 Розрахунок амортизаційних відрахувань E_E

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

Базовий вар.	$E_{A_B} = 66743 \cdot 10 / 100 = 6674$ (грн)
Новий вар.	$E_{A_H} = 68970 \cdot 10 / 100 = 6897$ (грн)

5.4 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

За Правилами технічної експлуатації електроустановок

споживачів [16] 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:

$$E_3 = E_{30} + E_{3д}, \quad (5.2)$$

E_{30} - основна заробітна плата по тарифу

$E_{3д}$ - додаткова заробітна плата.

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 ($N_H = 1$ $N_B = 2$)

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

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

$\Phi_{ЕФ}$ – 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}

$$E_{30_B} = 2 \cdot 42,26 \cdot 1.36 \cdot 365 \cdot 1 = 41995 \text{ (грн).}$$

$$E_{30_H} = 1 \cdot 42,26 \cdot 1.54 \cdot 365 \cdot 1 = 23754 \text{ (грн).}$$

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

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

$$E_{ЗД_Б} = 41995 \cdot 0,10 = 4199 (\text{грн}).$$

$$E_{ЗД_Н} = 23754 \cdot 0,10 = 2375 (\text{грн}).$$

Разом основна і додаткова заробітна плата визначається додаванням

Базовий вар.	$E_{З_Б} = (41995 + 4199) \text{ грн} = 46194 \text{ грн}$
Новий вар.	$E_{З_Н} = (23754 + 2375) \text{ грн} = 26129 \text{ грн}$

5.5. Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію знаходимо за формулою:

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

де V – вартість електроенергії ($V = 7.0$ грн/(кВт·год));

P – установлена потужність (5 кВт); 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:

$$\Phi_{\text{еф}} = 365 \cdot 0,8 \cdot 0,95 / 100 = 2774 (\text{год}).$$

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

$$E_{E_Б} = \frac{5}{0,87} \cdot 7 \cdot 2774 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 90394 \text{ (грн/рік)} \quad (5.4 \text{ а})$$

$$E_{E_Н} = \frac{5}{0,95} \cdot 7 \cdot 2774 \cdot 0,2 \cdot 0,9 = 18386 \text{ (грн/рік)} \quad (5.4 \text{ б})$$

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

5.6 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання Е_{ПР}

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

Таблиця 5.2– Графік ремонтів для базового варіанту

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудо місткість, чол.годин
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Система керування ЕП		пп			пп			пп			пп		36
Двигун			пп			пп			пп			пп	48
Кабельна мережа		пп				пп				пп			18
Апарати захисту			пп			пп			пп			пп	12
сенсори				пп				пп			пп		12
Загальна трудомісткість по базовому варіанту Ф _Б												126	

Таблиця 5.3– Графік ремонтів для нового варіанту

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудо місткість, чол.год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Система керування ЕП													
Двигун			пп				пп				пп		36
Кабельна мережа		пп				пп				пп			18
Апарати захисту				пп				пп				пп	12
сенсори			пп				пп				пп		12
Загальна трудомісткість по новому варіанту Ф _Н												78	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10

Арк.

68

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 наведеному вище графіку планово-попереджувальних ремонтів. Важливо, що у новому варіанті витрати на ремонт система керування ЕП не передбачені, тому що система складається з реле часу – генератору регульованих імпульсів (ремонт не підлягає) та перетворювача частоти (ремонт не підлягає). Але ці складові електроприводу вибрані з вимоги надійності виробника.

Ремонтні роботи виконує електромонтер шостого розряду, розраховуємо заробітну плату

$$E_{30} = T1 \cdot K \cdot \Phi \quad (4.3)$$

$T1$ – 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.

Базовий вар.	$E_{3_B} = 42 \cdot 1.36 \cdot 126 = 7187$
Новий вар.	$E_{3_H} = 42 \cdot 1.54 \cdot 78 = 5045$

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.	$E_{M_B} = 7187 \cdot 0,15 = 1080$
Новий вар.	$E_{M_H} = 5045 \cdot 0,15 = 756$

Всього витрати на поточний ремонт обладнання становлять

$$E_{\text{ПР}} = E_{30} + E_M$$

Базовий вар.	$E_{\text{ПР_B}} = 7187 + 1080 = 8267$
Новий вар.	$E_{\text{ПР_H}} = 5045 + 756 = 5802$

Таблиця 5.4 Зведення експлуатаційних витрат

Найменування витрат	Кошторисна вартість, грн. (у цінах 2024 року)	
	Базовий вар.	Новий вар.
Амортизаційні відрахування	6674	6897
Заробітна плата	46194	26129
Витрати на силову електроенергію	90394	18386
Витрати на поточний ремонт	8267	5802
Всього:	151529	57214
Інші витрати (5 %)	7576	2861
Всього експлуатаційних витрат E	159105	60075

Для оцінки економічної ефективності модернізованого електроприводу визначаємо показник відносної економії витрат

$$\delta_E = \frac{E_B - E_H}{E_B} \cdot 100\% = \frac{159105 - 60075}{159105} \cdot 100\% = 62,3\%$$

Висновок. Впровадження системи керування електроприводом вентилятора ПЧ-АД з програмованим реле часу є економічно виправданим, економія річних експлуатаційних витрат на рівні 62%.

5.7. 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

$$T_0 = \frac{K_H}{E_B - E_H} = \frac{68970}{159105 - 60075} = \frac{68970}{99030} = 0,70 \text{ р.}$$

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

$$k_{E_{ef}} = 1/T_0 = 1/0,70 = 1,428$$

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

як видно коефіцієнт економічної ефективності $k_{E_{\text{еф}}}$ більше ніж в 7 рази перевищує нормативне значення 0,2.

Тепер визначимо річний економічний ефект в грн:

$$EE = k_{E_{\text{еф}}}(K_H - K_B) + (E_B - E_H)$$

$k_{E_{\text{еф}}} = 0,2$ норм	$EE = 0,2 \cdot 2230 + 99030 = 99476$
$k_{E_{\text{еф}}} = 0,437$ проект	$EE = 1,43 \cdot 2230 + 99030 = 102218$ грн

Висновок. Впровадження системи керування електроприводом вентилятора ПЧ-АД з застосуванням реле часу є економічно виправданим:

- економія річних експлуатаційних витрат складає 62,3%;
- термін окупності капітальних вкладень 0,7 року, відповідно, коефіцієнт економічної ефективності дорівнює 1,4, тобто суттєво перевищує нормативне значення (0,2)
- річний економічний ефект 102 тис 218 грн

					<i>КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

ВИСНОВКИ

1. Поставлена в роботі мета підвищення енергоефективності електроприводу припливно-відточної вентиляції виробничого цеху дріжджового підприємства досягнута з використанням системи керування електроприводу перетворювач частоти – асинхронний двигун.
2. В процесі виконання роботи розроблена схема електроприводу, у якій один перетворювач частоти керує синхронною роботою двох електродвигунів однакової потужності, що приводять до руху два тотожних за параметрами вентилятори. Розрахована потужність обох вентиляторів, що забезпечують вентиляцію виробничого приміщення з кратністю повітрообміно $1,5 \div 2,5$.
3. Розраховані номінальні параметри електродвигунів, визначені номінальні параметри необхідного перетворювача частоти. Використання якого забезпечує зменшення навантаження на електромережу підприємства, за рахунок зменшення пікового значення струму у перехідному процесі, а також продовжує термін безаварійної роботи вентилятору за рахунок зменшення імпульсного механічного навантаження на лопасті в момент включення.
4. Проведено моделювання перехідних процесів при прямому пуску асинхронного двигуна та при подачі на обмотки статора напруги, модульованої перетворювачем частоти з використанням технології широтно-імпульсної модуляції.
5. Сформульовані вимоги щодо правил техніки безпеки під час монтажних робіт, експлуатації електроприводу в номінальному режимі, планово-профілактичних ремонтів.
6. Впровадження системи керування електроприводом вентилятора ПЧ-АД з застосуванням реле часу є економічно виправданим: економія річних експлуатаційних витрат складає 62,3%; річний економічний ефект складає 102 тис 218 грн; термін окупності капітальних вкладень 0,7 року.

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Перелік використаних джерел

1. Клещев Р.Ф. Загальна промислова біотехнологія: Технології бродильних виробництв: Навч. посіб. – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. – 200 с.
Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/79662725.pdf>
2. Панфілов В.А., Груданов В.Я. Машина і апарати харчових виробництв: Підручник. – Мінськ, 2007. – 317с.
3. Виробництво дріжджів, сировина і основні стадії технологічного процесу.
Режим доступу <https://www.systopt.com.ua/article-vyrobnnytvo-drizhdzhiv-syrovyna-i-osnovni-stadiyi-tehnologichnogo-procesu>
4. Штокман Е.О. Вентиляція, кондиціювання та очищення повітря на підприємствах харчової промисловості, - 2001р.
Режим доступу: https://farex.ua/files/materials/literatura/lit_4.pdf
5. Вентилятор відцентровий ВЦ 14-46 3,15 купити в Системакс™
(systemax.ua)
Режим доступу: <https://systemax.ua/ventilyatory/centrobezhnye-radialnye-ventilyatory/vc-14-46/vc-14-46-3-15-isp1.html>
6. Системи якості. Надійне промислове обладнання
Режим доступу: [Електродвигатель 2,2 кВт 1500 об/мин – AIP90L4 | AIP 90L4 | AIP 90 L4 – цены и характеристики \(xn--80aay.com.ua\)](https://xn--80aay.com.ua/електродвигатель_2,2_кВт_1500_об/мин_–_AIP90L4_|_AIP_90L4_|_AIP_90_L4_–_цены_и_характеристики)
- 7 Т.В. Величко, Д.І. Родькин Теорія електроприводу, частина 1. Механіка, характеристики двигунів в електроприводі / Навчальний посібник .
Кременчуг, КГПІ, 1999, -257 с.
- 8 Шніпка М.І. Силові перетворювачі для автоматизованого електроприводу: конспект лекцій для бакалаврів спеціальності 141ю- Харків: Харків. нац. ун-т міськ. Госп-ва.- 2019.-82 с.
https://eprints.kname.edu.ua/55278/1/2019%20%D0%BF%D0%B5%D1%87%2080%D0%9B%20%D0%A1%D0%9F_2019.pdf

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

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=OdONAHT.1680438>

10 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.

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

11 "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/ABB-ACS310-03E-13A8-4-3ф-5.5-kVt-12.5A-Перетворювачі-частоти-від-Інтегровані-Водні-Технології-ТОВ-1893660705)

12 Товари для електромонтажу АxiomPlus.

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

13 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

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

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

16 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>

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

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

					КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.1.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74