

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



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**на тему «Дослідження та модернізація електроприводу
рециркуляційного вентилятору пекарної камери хлібопекарної печі»**

Здобувач СВО «Бакалавр»: Татауш Олексій Іванович
студент групи АЕМт-31

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

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

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

Завідувач 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» Татауш Олексій Іванович гр. АЕМт-31

1. Тема роботи: «Дослідження та модернізація електроприводу рециркуляційного вентилятору пекарної камери хлібопекарної печі»

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 р.

3. Вихідні дані роботи: хлібопекарна піч ПХК-16, продуктивність печі по хлібу 0,7 кг 480 кг/год., час випікання хліба 30...70 хв., діапазон температур пекарної камери (120÷250)°С, діапазон регулювання частоти обертання ротора двигуна приводу рециркуляційного вентилятору (РЦВ) 150...1500 об/хв.

4. Зміст розрахунково-конструкторської частини КРБ (перелік питань, які потрібно розробити):

1 Загальна характеристика роботи: Огляд хлібопекарних печей, технологія процесу випікання хліба, призначення та параметри рециркуляційного вентилятору. Актуальність теми. Об'єкт і мета модернізації електроприводу рециркуляційного вентилятору.

2 Розрахунково-конструкторська частина: Конструкція тунельної хлібопекарної печі, організація потоку теплоносія у пекарній камері. Розрахунок кінематичної схеми рециркуляційного вентилятору. Розрахунок потужності двигуна. Вибір перетворювача частоти для електроприводу рециркуляційного вентилятору. Розробка електричної схеми частотно-регульованого електроприводу.

3 Імітаційне моделювання електроприводу в середовищі Matlab/Simulink: Розрахунок параметрів схеми заміщення АД, та розробка моделі електроприводу рециркуляційного вентилятору у середовищі MATLAB/Simulink, дослідження режимів роботи електроприводу на розробленій моделі.

4 Організаційна, технологічна та економічна частина: Організація монтажу електроприводу рециркуляційного вентилятору. Розробка основних положень техніки безпеки праці при монтажних роботах, обслуговуванні в номінальних режимах роботи та при виконанні ремонтних робіт. Розрахунок економічної ефективності від модернізації електроприводу рециркуляційного вентилятору хлібопекарної печі.

5 Результативна частина: Висновки і рекомендації за прийнятими в проекті рішеннями.

Список використаних джерел, на які є посилання.

5. Перелік демонстраційного матеріалу. Слайди презентації (обов'язкові):

1. Титульний слайд.
2. Актуальність теми, об'єкт проектування, мета і завдання роботи.
3. Конструкція і технічні характеристики печі.
4. Розрахунок кінематичної схеми електроприводу рециркуляційного вентилятору (РВ).
5. Розрахунок потужності і вибір двигуна електроприводу рециркуляційного вентилятору.
6. Вибір перетворювача частоти для електроприводу рециркуляційного вентилятору, його будова та характеристики
7. Модель та результати моделювання електроприводу РВ з АД (прямий пуск АД).
8. Модель та результати моделювання електроприводу РВ з перетворювачем частоти
9. Розрахунок економічної ефективності від модернізації електроприводу рециркуляційного вентилятору.
10. Висновки (технічні, технологічні, т/б і охорона праці, економічні).

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: 05.02.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра | Строк виконання етапів | Прим |
|-------|---|------------------------|------|
| 1 | Загальна характеристика пекарної камери хлібопекарної печі тунельного типу. Призначення рециркуляційного вентилятору | 15.03.2024 | |
| 2 | Будова кінематичної схеми рециркуляційного вентилятору (РЦВ). Розрахунок навантажень і вибір двигуна. Розробка схеми електроприводу РЦВ системи ПЧ-АД. Вибір ПЧ | 10.04.2024 | |
| 3 | Розробка моделі електроприводу рециркуляційного вентилятору пекарної камери у середовищі MATLAB/Simulink і дослідження параметрів його роботи у різних режимах | 10.05.24 | |
| 4 | Монтаж електроприводу. Техніка безпеки Економічна частина. | 25.05.2024 | |
| 5 | Попередній захист кваліфікаційної роботи. | 17.06.2024 | |
| 7 | Захист кваліфікаційної роботи бакалавра. | 27.06.2024 | |

Здобувач: Татауш О.І. _____

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 Татауш О.І. _____

АНОТАЦІЯ

Татауш О. І. Кваліфікаційна робота бакалавра «Дослідження та модернізація електроприводу рециркуляційного вентилятору пекарної камери хлібопекарної печі». Одеса: ОНТУ, 2024. Стор.–78, бібл.–17, іл. –25, табл. – 10.

В розділі «Вступ» відмічена важливість хлібопекарної галузі в екстремальних ситуаціях для держави Україна, необхідність реконструкції існуючого обладнання, зокрема, з метою підвищення ефективності споживання електричної енергії.

В розділі «1 Загальна характеристика роботи» описані типи хлібопекарних печей, зокрема печей з тунельною пекарною камерою, показаний принцип заощадження енергії при використанні рециркуляційного вентилятору для формування потоку теплоносія. Обґрунтована актуальність і мета проекту.

В розділі «2 Розрахунково-конструкторська частина» описана конструкція і технічні характеристики пекарної камери хлібопекарної печі ПХК-16, розрахована кінематична схема електроприводу рециркуляційного вентилятору, обраний двигун оптимальної потужності, а також перетворювач частоти для оптимізації роботи електроприводу.

В розділі «3 Імітаційне моделювання електроприводу в середовищі Matlab/Simulink» розроблена математична модель електроприводу конвеєра хлібопекарної печі у середовищі MATLAB Simulink, і отримані результати моделювання його роботи у режимі прямого пуску та при широтно-імпульсній модуляції напруги живлення.

В розділі «4 Організаційна, технологічна та економічна частина» описана організація монтажних робіт, правила техніки електробезпеки при обслуговуванні електроприводу у номінальному режимі, організації поточного ремонту і профілактичного огляду ремонту вентилятора

В розділі «5 Економічна частина» приведений розрахунок економічної ефективності від модернізації електроприводу хлібопекарної печі.

В розділі «6 Результативна частина» приведені висновки і рекомендації за прийнятими в роботі рішеннями.

Ключові слова: хлібопекарні печі, рециркуляційний вентилятор, асинхронний двигун, електропривод, перетворювач частоти, імітаційне моделювання.

ABSTRACT

Tataush O.I. «Research and Modernization of the electric drive for recirculation fan of the baking chamber in the bakery oven». Bachelor's qualifying work. – Odesa: ONUT, 2024. Pp.– 78 c. Bibliogr.: 17. Ill.:25. Tab. 8.

In the "**Introduction**" section the importance of bakery equipment for the Ukraine in extreme situations is noted. The importance of reconstructing existing equipment in order to reduce energy consumption per unit of production is shown.

In the "**Section 1**" the bakery ovens with a tunnel baking chamber are described. The principle of energy saving when using a recirculation fan to form the coolant flow is presented.

In the "**Section 2**" the kinematic diagram of the electric drive for the recirculation fan is substantiated, the type and work parameters of the engine and frequency converter for its electric drive are calculated.

In the "**Section 3**" the electric drive in various operating modes was simulated using Matlab Simulink.

In the section **4** the calculation of the economic efficiency from the modernization of the electric drive of the recirculation fan is given, the sequence of installation work is described, safety rules are formulated

Section Resulting part contains conclusions and recommendations based on the decisions made in the work.

Key words: bakery ovens, recirculation fan, asynchronous machine, electric drive, frequency converter, simulation with Matlab/Simulink, modeling of the electric drive.

Зміст

| | | |
|------------|---|----|
| | Вступ | 8 |
| 1 | Характеристика технологічного обладнання та режимів його роботи | 10 |
| 1.1 | Головні етапи технологічного процесу | 10 |
| 1.2 | Базові параметри технологічного процесу та їх забезпечення | 11 |
| 1.3 | Особливості конструкції технологічного агрегату та умови його експлуатації | 17 |
| 1.3.1 | Формування потоку теплоносія пекарної камери тунельної печі ПХК16 | 18 |
| 1.3.2 | Параметри рециркуляційного вентилятора | 21 |
| 1.3.3 | Система автоматичного захисту обладнання та контролю основних режимів печі ПХК16 | 22 |
| 1.4 | Об'єкт дослідження та мета проекту | 23 |
| 2 | Розрахунково-конструкторська частина | 24 |
| 2.1 | Вибір рециркуляційного вентилятору | 24 |
| 2.2 | Визначення номінальних параметрів роботи електродвигуна | 29 |
| 2.2.1 | Номінальний і пусковий струми | 29 |
| 2.2.2 | Номінальний механічний момент на валу двигуна | 29 |
| 2.2.3 | Номінальне ковзання | 30 |
| 2.2.4 | Природна механічна характеристика двигуна | 30 |
| 2.2.5 | Розрахунок параметрів кабелю живлення електроприводу .. | 33 |
| 2.3 | Вибір системи керування електроприводу та перетворювача частоти | 34 |
| 2.3.1 | Загальні відомості щодо систем керування електроприводу . | 34 |
| 2.3.2 | Переваги електроприводу керованого системою ПЧ-АД | 37 |
| 2.3.3 | Робочі характеристики електричної машини з керованим електроприводом по системі ПЧ-АД | 38 |
| 2.3.4 | Вибір перетворювача частоти | 41 |

| | | | | | | | |
|-------------------|--------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------------|--------------|----------------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | | |
| <i>Изм.</i> | <i>Арк</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | | |
| <i>Розробив.</i> | Татауш О.І. | | | | <i>Арк</i> | <i>Аркуш</i> | <i>Аркушів</i> |
| <i>Перевірів.</i> | Розіна О.Ю. | | | | 6 | 78 | |
| <i>Реценз.</i> | | | | | ОНТУ, гр. АЕМт-31 | | |
| <i>Н. Контр.</i> | | | | | | | |
| <i>Затверд.</i> | Осадчук П.І. | | | | | | |

Дослідження та модернізація електроприводу рециркуляційного вентилятору хлібопекарної печі

| | | |
|----------|---|----|
| 3 | Імітаційне моделювання електроприводу в середовищі <i>Matlab/Simulink</i> | 43 |
| 3.1 | Загальні уявлення | 43 |
| 3.2 | Визначення параметрів схеми заміщення за паспортними даними | 44 |
| 3.3. | Дослідження прямого пуску асинхронного двигуна | 47 |
| 3.4. | Моделювання перехідних процесів при широтно-імпульсній модуляції напруги живлення | 51 |
| 4 | Організаційна та технологічна частина | 55 |
| 4.1. | Монтаж електроприводу | 55 |
| 4.2 | Охорона праці і техніка безпеки при монтажі і обслуговуванні рециркуляційного вентилятору | 62 |
| 5 | Економічна частина | 68 |
| 5.1 | Розрахунок капітальних вкладень | 68 |
| 5.2 | Розрахунок експлуатаційних витрат | 68 |
| 5.3 | Визначення економічної ефективності | 74 |
| | Висновки | 75 |
| | Перелік використаних джерел | 77 |

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 7 |

Вступ

Під час воєнного стану безпека населення пов'язана не тільки з успішним проведенням оборонних та наступальних заходів, але із своєчасним розв'язанням поточних соціальних проблем. На першому плані постає безперервне забезпечення населення продуктами харчування, і першою позицією у переліку критичних продуктів щоденного використання з коротким терміном зберігання є хліб та хлібо-булочні вироби. У великих містах проблема стабільного і своєчасного забезпечення населення хлібом практично є вирішеною. В них працюють декілька потужних хлібокомбінатів; при аварійній ситуації на одному з них (внаслідок зниження водопостачання, локальної аварії у мережі енергоживлення) решта хлібокомбінатів можуть на необхідний термін збільшити обсяг виробництва, і таким чином забезпечити еквівалентну добову норму випуску продукції. Якщо при безаварійній роботі усіх підприємств обласного центру внаслідок кліматичних негараздів (потужні снігопади, локальне затоплення районів) перерветься логістичний ланцюжок забезпечення продуктами хлібопекарського виробництва, то в обласному центрі проблема вирішується протягом декількох годин. У сільському регіоні, розташованому на відстані 30 – 50 км від обласного та районного центрів, проблеми забезпечення продуктами харчування, і зокрема хлібом, можуть залишатися не вирішеними протягом декількох діб (або навіть тижнів).

Шляхом покращення ситуації в сільській місцевості може бути реконструкція або оновлення малопотужних хлібопекарських підприємств місцевого значення, які на протязі 2000 – 2005 років втратили своє значення. Це стосується у першу чергу регіонів навколо розвинутих агрогосподарств недержавної форми власності.

При організації хлібопекарського виробництва малої та середньої потужності має бути не тільки складений грамотний бізнес-план, але і вирішені задачі раціонального енергоспоживання, визначені шляхи організації економних і безаварійних режимів роботи електромеханічного обладнання.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| | | | | | | 8 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Поставлена в роботі задача впровадження ефективних енергозберігаючих технологій у процесі випікання хліба збігається основними напрямками задекларованою державою Україна стратегією розвитку паливно-енергетичного комплексу [1], яка спрямована на підвищення енергетичної безпеки. Серед задекларованих напрямків на перше місце виходить енергозбереження, тобто раціональне використання паливно енергетичних ресурсів, що веде по-перше, до загального зменшення потреби в енергоресурсах; по-друге, зменшення долі вартості енергоресурсів у собівартості кінцевого продукту; по-третє, зменшення викидів продуктів згоряння і, відповідно, покращення екологічного стану.

Хлібопекарська піч – несе основне функціональне навантаження і є найдорожчим агрегатом в технологічних лініях по виробництву хлібобулочної продукції. Критеріями правильності вибору конструкції печі, є експлуатаційна надійність, продуктивність або виробнича потужність, енергетичні характеристики технологічного процесу: раціональне співвідношення між використанням енергоресурсів різного типу (газ, електрика), а також можливості для організації режимів безаварійної роботи обладнання та економного споживання енергоресурсів [2].

Характерно, що для поширених технологічних процесів галузей будівництва, транспорту, машино- і приладобудування, порядку (80÷90)% спожитої електроенергії, використовується системами електроприводу. Тобто основною задачею для такого технологічного обладнання є удосконалення систем електроприводу. Процес підготовки тіста, його дозрівання та випікання відноситься до класу біотехнологічних процесів, які характеризуються активним споживанням теплової енергії. Таку теплову енергію можна отримати внаслідок розігріву теплоносіїв нагрівачами з електричним живленням, або нагрівачами, що працюють на газовому і рідкому паливі. Для ефективної роботи нагрівачів другого типу треба правильно організувати теплові потоки в нагрівних каналах, забезпечити грамотне керування їх потужністю і режимами тепловіддачі.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА РЕЖИМІВ ЙОГО РОБОТИ

1.1 Головні етапи технологічного процесу

У процесі випікання хлібобулочного виробу тістова заготовка має набути форму та споживчі властивості готового продукту. Однорідна і щільна структура тістової заготовки змінюється, перетворюється на пористу; при цьому практично без зміни маси суттєво зростає об'єм готового продукту; за рахунок утворення тонкого поверхневого шару готовий продукт отримує стабільну форму.

Для того, щоб кінцевий продукт (хліб) отримав задані споживчі властивості, в хлібопекарній печі має відбутися упорядкована послідовність біотехнологічних процесів, регульованих температурою і вологістю середовища. По-перше, в печі завершується життєдіяльність дріжджового субстрату, внаслідок біофункціонування якого по об'єму тістової заготовки рівномірно утворилися мікропухирці газу, продукти життєдіяльності дріжджових грибків. Температура має бути технологічно обґрунтованою, так щоб зростання об'єму мікропухирців відбувалося рівномірно по шарах заготовки, не деформуючи її під час випікання. По-друге, внаслідок процесів масопереносу (випарування) на поверхні заготовки має утворитися тонкий поверхневий шар з низьким коефіцієнтом дифузії для молекул води. Цей шар має технічну назву «корка» хліба, причому якість утвореної корки значною мірою визначає термін придатності хліба до споживання (уповільнює зачерствіння, тобто його пересушування). Одночасно з формуванням корки відбуваються процеси колоїдні процеси та процеси полімеризації, внаслідок яких формується стабільна структура м'якушки із заданою вологістю (тобто не пересушеної).

Отже, процес випікання є складною системою процесів різних типів: фізичних, фізико-хімічних, біологічних, узгоджене протікання яких потребує строгого контролю та підтримання температурних режимів [3].

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 10 |

1.2 Базові параметри технологічного процесу та їх забезпечення в обладнанні різного типу. Повний цикл обробка тістової заготовки у хлібопекарній печі за термінологією технологів має назву гідротермічна обробка, тому що складається з фаз зволоження і випікання. Крім того фаза випікання складається з двох послідовних періодів: 1 – період зменшення швидкості вологовіддачі внаслідок зростання об’єму тістової заготовки; 2 – період постійної швидкості вологовіддачі внаслідок незмінного об’єму виробів, цей процес має назву допікання і тістова заготовка перетворюється на готовий продукт. Для того, щоб забезпечити температурні умови процесу та необхідні параметри вологості повітряного середовища на різних етапах випікання, пекарні камери печей за звичай розділяють на три зони з різними характерними параметрами температури і вологості.

У зоні зволоження тістові заготовки знаходяться короткий час 2÷3 хвилини в об’ємі пароповітряного середовища. Спосіб зволоження об’єму залежить від типу і конструкції печі: може відбуватися розпилення води форсунками при температурі кипіння або інжекція гарячої пари. Одночасно із зволоженням середовища іде інтенсивне зволоження поверхні тістових заготовок вологою паром. При конденсації пари на поверхні заготовок тонкий шар перезволоженого тіста, який перешкоджає формуванню корки, тому зростання об’єму тістової заготовки відбувається рівномірно і без розривів поверхні. Температура середовища у зоні зволоження під час випікання хліба підтримується у межах 100÷120°C. Відносна вологість повітря наближається до значення $\varphi \approx 90\%$. Середня температура у внутрішніх шарах заготовки не перевищує 30÷60 °C і на поверхні заготовки у цій зоні внаслідок конденсації пари наближається до 100°C, але не перевищує це значення [3].

Переміщення тістових заготовок у зону випікання стимулює наступні процеси:

- формування корки;
- вивільнення вологи у внутрішньому об’ємі тістової заготовки внаслідок коагуляції білків;

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 11 |

- клейстеризація крохмалю, при якій вивільнена волога зв'язується, що забезпечує задані властивості м'якушки – еластичність, стійкість структурі і остаточну вологість.

Для того, щоб технологічно узгодити ці різні процеси (масоперенос, біохімічні реакції різного типу), які потребують різної температури і мають різну швидкість протікання, температуру середовища у першій зоні випікання доводять до 200÷250⁰С. При цьому у першу чергу починає формуватися корка внаслідок інтенсивного випаровування з поверхні, і одночасно внаслідок сформованого градієнту температури в об'ємі тістової заготовки відбувається дифузне переміщення вологи від поверхні до її центру. Швидке формування корки заданої щільності зберігає вологу та уповільнює біохімічні процеси, що протікають у внутрішніх шарах заготовки. Це забезпечує умови для формування м'якушки з властивостями, що задовольняють нормам ДСТУ. Коагуляція білків протікає у шарах, розігрітих до температури 55÷70⁰С, при цьому вивільнена волога не випаровується внаслідок сформованої кірки і зберігається у заготовці до розігрівання відповідного внутрішнього шару до температури 85÷95⁰С, при якій відбувається клейстеризація. Якщо температура середовища у першій зоні буде нижче зазначеної 200÷250⁰С, корка сформується тоншою, внаслідок чого зростуть втрати маси хліба в процесі випікання, а також суттєво знизяться споживчі якості хліба (м'якушка буде не пластичною, а крихкою).

Далі заготовки транспортують у третю зону, яка має назву зона допікання. У цій зоні для зменшення втрат маси продукту внаслідок упікання температуру підтримують на рівні 160÷180⁰С, тобто температура середовища незначним чином перевищує температуру кірки, її властивості залишаються практично незмінними і в кінці процесу випікання хліба кірка має високу споживчу якість.

Загалом у процесі випікання еластичність, стійкість структурі і остаточна вологість м'якушки набувають споживчої якості спочатку в шарах, прилеглих до кірки, а потім, з часом, і в центр хліба. Процесу випікання має закінчуватися, коли температура в умовному центрі продукту дістає значень 96÷98⁰С.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| | | | | | | 12 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Пічні агрегати можуть мати різні конструктивні особливості, спрямовані на
А) ретельне дотримання гідротермічних умов обробки тістових заготовок на різних етапах випікання;

Б) зручність і безпеку обслуговування пічного агрегату операторами;

В) доступність нагрівального та електротехнічного обладнання, а також систем автоматичного захисту для проведення профілактичних оглядів і планових ремонтів.

За типом пічної камери пічні агрегати класифікують таким чином [2,3] :

– з тупиковими камерами; в них завантаження тістових заготовок і вивантаження готового продукту відбувається з однієї сторони агрегату; транспортування заготовок в процесі термічної обробки відбувається по коловій, або більш складній замкнутій траєкторії;

- з тунельними камерами; тістові заготовки проходять всі стадії гідротермічної обробки і перетворюються на готові хлібобулочні по прямолінійній траєкторії; для транспортування заготовок використовується одна конвеєрна лінія, на якій закріплений стрічковий сітчастий под.

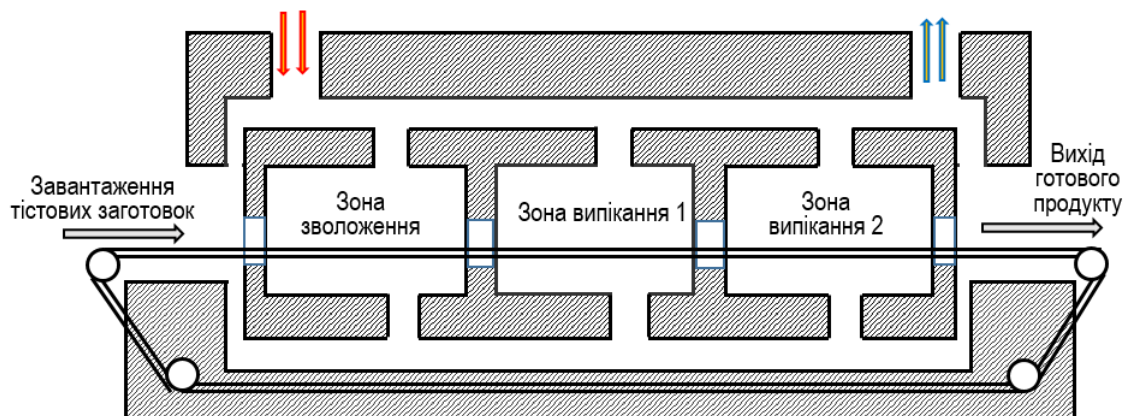


Рис.1.1. Схема руху тістових заготовок уздовж пекарної камери тунельного типу [4]

Крім того, пічні агрегати класифікують за способами генерації тепла та способами обігріву пекарної камери. На сучасному ринку пічних агрегатів достатньо широко представлені печі з електричним обігрівом.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 13 |

Вони найпростіші для використання та обслуговування, зручні при виробленні продукції широкого асортименту малими партіями. У собівартості продукції доля вартості спожитої електроенергії висока.

Для масового виробництва хліба та інших виробів обмеженого асортиментного ряду використовують печі, у яких генерація тепла для нагріву теплоносія пічного агрегату відбувається у топках, що працюють на газовому або рідкому паливі. При цьому розігрів пекарної камери агрегати відбувається у різні способи:

– газ спалюється безпосередньо в пічній камері; у такому способі обігріву неможливо забезпечити необхідний гідротермальний режим випічки хліба високої споживчої якості, що задовольняє нормам ДСТУ стандартного споживчого кошика продуктів для населення;

– газ (або рідке паливо) спалюється у топці, розташованій у найнижчій зоні пічного агрегату і відокремленій від пічної камери; за рахунок розігріву нижніх шарів повітря у зоні випікання формуються конвективні потоки гарячого повітря; або конвективні потоки теплоносія (пароводяної суміші) по нагрівальних трубках;

– газ (або рідке паливо) спалюється у топочній камері, подається у газорозподільний короб, де змішується з повітрям при низькій температурі; далі теплоносій примусово розподіляється по тонкостінним металевим каналам, теплопередача до пічної камери відбувається через ці тонкі стінки каналів.

Формування гідродинамічного потоку в каналній системі потребує роботи достатньо потужного вентилятора, який створює розрідження і перепад тиску в каналній системі.

Наявність вентилятора, що забезпечує перепад тиску у каналній системі, дозволив впровадити додаткові технології: **рекуперацію тепла** за рахунок рециркуляції парогазової суміші, а також організацію **змішаного обігріву пекарної камери** [4].

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 14 |

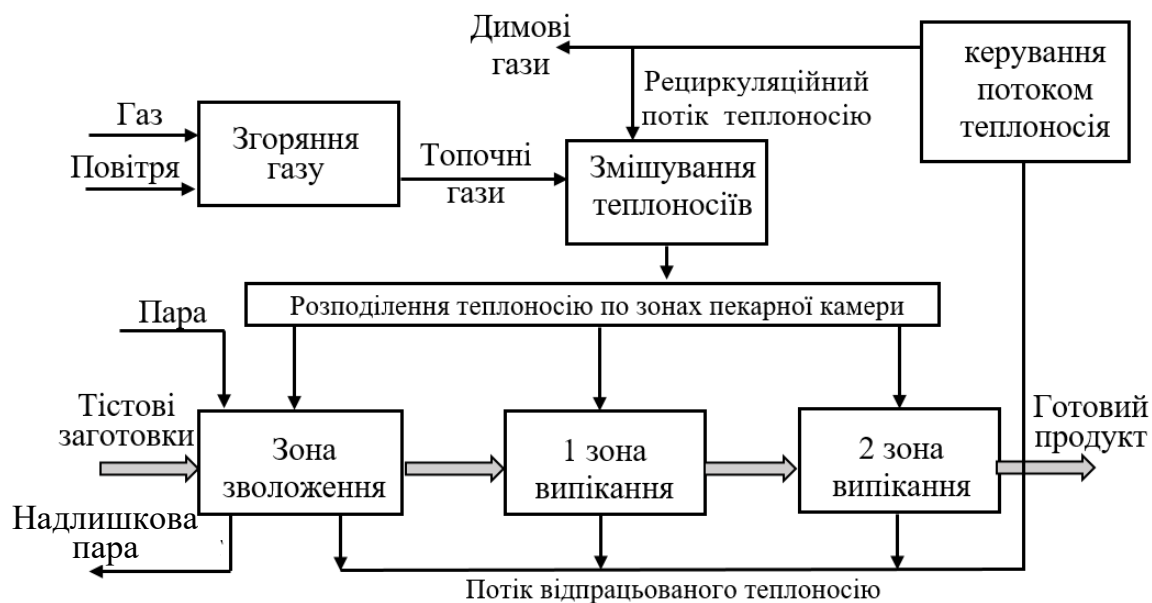


Рис.1.2. Структурна схема технологічного процесу випікання хліба

Технологічний процес, структурна схема якого показана на рис.1.2, реалізований у пічних агрегатах тунельного типу [4]. У таких печах організований циклотермічний обігрів. Теплоносієм є повітряногазова суміш, яка має дві складові

а) топочні гази, які утворилися внаслідок згорання газу у топці,

б) повітряно-газова суміш, яка утворює потік відпрацьованого теплоносія; цей потік охолодженої повітряно-газової суміші, частково викидається в атмосферу у вигляді димових газів, а частково рециркуляційним потоком змішується з топочними газами.

Тотожний технічний термін має назву **рекуперация** теплоносія. Змішування потоків веде до зниження розходу газу у топці, швидкого встановлення заданого значення температури потоку на вході камери випікання.

Підготовлений теплоносій подається у пекарню камеру, причому у кожену зону при технологічно обґрунтованих температурах.

Процес випікання починається з моменту вступу тістової заготовки в зону зволоження пекарної камери. За допомогою парозволожуючого пристрою в зону зволоження подається рівномірно розподілена насичена пара.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 15 |

Тиск насиченої пари належить діапазону (0,05÷0,1) МПа. Температура середовища у зоні зволоження підтримується у межах 100÷120⁰С. Відносна волога середовища приймає значення 70÷90%. Перед початком транспортування тістових заготовок у зону випікання 1 надлишок пари відводиться з пекарної камери за допомогою малопотужного вентилятору.

Потік тепла, спрямований у першу зону випікання, має забезпечити температуру середовища до 200÷250⁰С. Така температура зумовлює швидке формування якісної кірки, що перешкоджає пересушування м'якушки та втрати маси готового виробу (упікання).

Потік тепла, спрямований у другу зону випікання, меншої потужності забезпечує температуру середовища на рівні 160÷180⁰С. Така температура незначним чином перевищує температуру кірки, що забезпечує без втрати вологи з внутрішніх шарів повільне пропікання (формування споживчих властивостей) м'якушки.

Потік відпрацьованого теплоносія збирається газопроводом, по якому відводиться за межі пекарної камери. Цей потік розгалужується на два з різними функціональним навантаженням. Один – рециркуляційний потік, повертає невикористане тепло знову в систему обігріву, другий – потік димових газів, які скидаються в атмосферу. Важливо, що організація **рекуперацію тепла** за рахунок рециркуляції парогазової суміші знижує «теплове забруднення» атмосфери і зумовлює економію пального.

Для обігріву топки використовується природний газ, поданий з мережі газопостачання під тиском 4,2кПа (0,042 Атм) при температурі 6⁰С. Для нормального протікання процесу згорання в топці створюється розрідження для притоку повітря. Температура продуктів згорання, що йдуть на обігрів пекарної камери становить 1000- 1600⁰С и знижується до 450-480⁰С за рахунок рециркуляції частини газів на виході з робочого простору печі. Змішані з рециркуляційними газами продукти згорання (теплоносій) по системі газопроводів поступають в канали обігріву.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 16 |

Теплоносій, охолоджений до температури 340-380°C, відводять рециркуляційним вентилятором з пекарної зони.

З обговорення технологічної схеми рис.1.1 випливає, що пристрій, що керує потоками теплоносія виконує декілька технологічних функцій

А) створює розрідження в зоні згоряння газу для забезпечення нормальної роботи топки;

Б) організує перепад тиску на початку і кінці каналної системи обігріву пекарної камери;

В) Забезпечує виведення відпрацьованого охолодженого теплоносія з зони випікання

Г) створює умови для формування рециркуляційного потоку.

Такий пристрій потребує електроприводу змінного струму на базі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором і спеціалізованого перетворювача частоти з вбудованим або зовнішнім контролером, що забезпечує управління двигуном в замкнутій системі зі зворотними зв'язками за технологічними параметрами.

1.3 Особливості конструкції технологічного агрегату та умови його експлуатації

Технологічний процес, структурна схема якого показана на рис.1.1, реалізований на печах тунельного типу з рециркуляцією продуктів згоряння. Такого типу печі, представлені на хлібопекарських підприємствах України, іноземних виробників позначаються марками БН, “Термоелектро”, ППЦ, ППП, “Гостол”, “Мінел”, “Максофлекс” та ін. Ряд хлібопекарських печей української розробки та виробництва базуються на розробках науково-дослідного інституту УкрНДПродмаш. Серед них печі з інтенсифікацією конвективного обігрівання серії А2-ХПК (16, 25, 50 м²), а раніше – печі А2-ХПН (25, 50 м²), Красилівський машинобудівний завод (разом з НУХТ) – печі ХПК (16, 25, 50 м²), Дніпровський машинобудівний завод – піч К5-ВКО – 25, ШМЗ – печі Г4-ХПН (25, 50, 72 м²) та інші.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 17 |

1.3.1. Формування потоку теплоносія пекарної камери тунельної печі

На хлібопекарному підприємстві середньої потужності недержавної форми власності тривалий час працює тунельна піч марки ПХК з площею поду 16 м² (ПХК-16), для якої передбачене дослідження і модернізація електроприводу.

На рис.1.3 показана спрощена схема формування потоку теплоносія і його транспортування у робочому просторі печі.

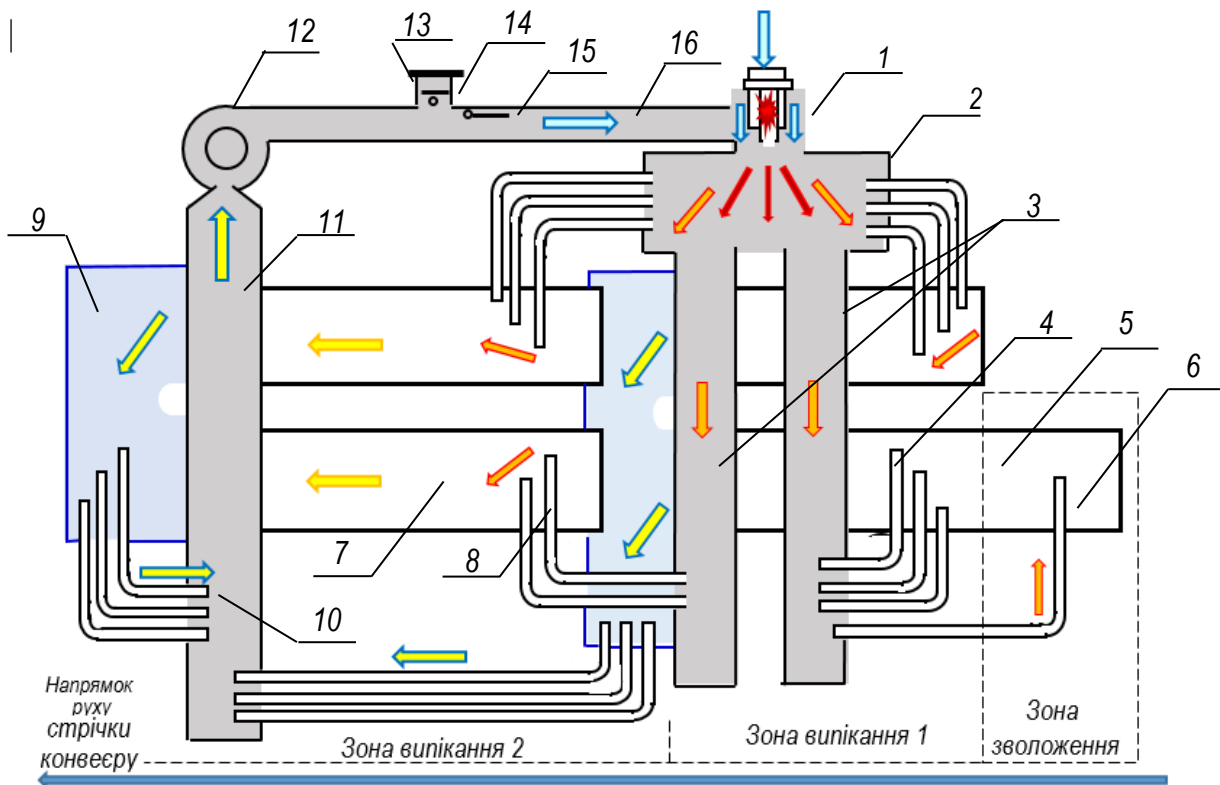


Рис.1.3. Спрощена схема транспортування теплоносія по робочому простору печі ПХК-16 [4]

1 – камера згоряння; 2 – змішувальний короб; 3 – короб для розподілення теплоносія по ширині пекарної камери; 4 – патрубки з шиберами для подавання газів в нижній канал I зони; 5 - нижні нагрівальні канали I зони та зони зволоження; 6 – газопроводи подачі газів в I зону і зону зволоження; 7 - нижній нагрівальний канал II зони випікання, 8 – газопроводи подачі газів в II зону випікання і нижній нагрівальний канал II зони; 9 – розширювач для відпрацьованого теплоносія, 10 – трубопроводи ; 11 – всмоктувальний патрубок вентилятору; 12 – вентилятор рециркуляції; 13 – димова труба; 14, 15 – шибери; 16 – напірний патрубок.

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

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2

Арк.

18

Формат А4

На рис.1.13 показані пальник (топковий пристрій), який складається з циліндричної камери згоряння 1 та соосної циліндричної камери 2 змішування топочних газів з газами, що повертаються рециркуляційним потоком після відпрацювання. Температура згоряння газу порідку 1200°C , після змішування в камері 2 температура теплоносія зменшується до 450÷500°C. Стінки камері згоряння і камери змішування виконані з жаростійкої сталі. Топка печі пристосована для спалювання газу чи рідкого палива. Характерно, що для печі ПКХ 16 об'єм топки збільшено у порівнянні з ПКХ 25 та іншими аналогами, щоб знизити питомі теплові навантаження і збільшити її довговічність.

Охолоджений теплоносій за рахунок напору, створеного пальником 21, подається в короб 3 для розподілення теплоносія по ширині пекарної камери та обом її рівням.

Як видно на рис.1.3, зона зволоження не має зверху нагрівального каналу, що зменшує втрати теплоти на перегрівання пари, призначеної до зволоження виробів; відповідно поліпшуються умови сорбції і конденсації пари на поверхні тістових заготовок. Це зменшує втрати від упікання і покращує якість готових виробів.

На рис.1.3 не показаний пристрій для гіротермічного оброблення тістових заготовок, щоб не переобтяжувати схему. Він встановлений на початку пекарної камери, де інтенсивність обігрівання має бути низькою і може регулюватися. Зона зволоження оснащена парозволожувальним пристроєм для гіротермічного оброблення тістових заготовок. Він складається з системи труб, оснащений малопотужним відцентровим водовідокремлювачем для недопущення попадання конденсату. На трубопроводах викидання надлишків пари встановлені конічні раструби з конденсатовідділювачами. З метою герметизації пекарної камери і зони парозволоження використовуються еластичні термостійкі тефлонові фартуки.

Для попереднього обігрівання сітчаного поду знизу передбачено спеціальний нижній канал димових газів (на рис.1.3. не показаний).

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 19 |

Тобто, перед завантаженням тістових заготовок холоста гілка сітчаного конвеєра підігрівається відпрацьованими газами, і це є позитивним фактором для отримання якісних виробів великого об'єму.

Окремі секції пекарної камери мають конструкцію зварних коробів з листової сталі, з'єднаних болтами, теплоізоляція виконана з шлаковати.

Труба 13, закріплена на каркасі печі представляє собою два соосних циліндри (діаметр внутрішнього 220 мм, зовнішнього – 320 мм. По зовнішньому кільцевому каналу відбувається відведення продуктів згоряння, по внутрішньому – пароповітряна суміш з пекарної камери. У внутрішньому циліндрі розташований шибер, який регулює ступінь рециркуляції відпрацьованого теплоносія. У Таблиці 1 зведені параметри печі ПХК 16 зазначені у її документації

| Таблиця 1.1. Параметри хлібопекарної печі ПХК 16 | | |
|--|---|-------------------------|
| Виробнича потужність, кількість продукції за один.часу | | 480 кг/год |
| Тривалість випікання | | 8÷48 хвилин |
| Робоча площа поду | | 16,4 м ² |
| Ширина поду | | 2,1 м |
| Довжина пекарної камери | | 8 м |
| Висота пекарної камери | | 0,2 м |
| Питомий розхід палива (природнього газу) | | 470 м ³ /год |
| Потужність електродвигуна | конвеєру | 2,2 кВт |
| | рециркуляційного вентилятору | 7,5 кВт |
| | вентилятору для видалення надлишкової пароповітряної суміші з зони зволоження | 1,1 кВт |
| Габаритні розміри | ширина без привода вентилятора рециркуляції | 3,35 м |
| | висота | 1.9 м |
| | довжина | 13 м |

1.3.2. Конструкція і параметри рециркуляційного вентилятору. Як видно пояснень розділу 1.2, одною з головних умов ефективної роботи хлібопекарської печі типу ПХК-16 є організація керованого потоку теплоносія по окремих секціях пекарної камери, а також створення рециркуляційного потоку теплоносія та його спрямування у камеру змішування з продуктами згорання.

Циркуляційний вентилятор 12 забезпечує роботу пальника у номінальному режимі, примусову циркуляцію продуктів згорання в системі опалювання, а також підтримує розрідження в усій системі розігріву пічної камери. Вся робоча характеристика циркуляційного вентилятора лежить в області розрідження. Його безперебійну роботу у такому режимі забезпечує вакуумний вимикач.

У випадку зменшення розрідження у всмоктувальному патрубку 15 циркуляційного вентилятора нижче установленної величини, припиняється подача тепла автоматичним блокуванням пальника –пальник не можна пустити в хід. Число обертів циркуляційного вентилятора встановлено на оптимальну величину при вводі печі в експлуатацію.

Виробник при комплектації пічного агрегату ПХК 16 використав рециркуляційний вентилятор марки ВЦ9-57 №5 з електродвигуном потужністю 7,5 кВт і частотою обертання $n = 1460$ об/хвилину. За даними виробника «Укрвентсистеми» [5] на даний час вентилятор марки ВЦ9-57 знятий з виробництва. Виробник пропонує вентилятор відцентровий ВЦ 14-46 №5, що має відповідні параметри і задовольняє умовам експлуатації в конструкції хлібопекарної печі. Він споряджений електричним двигуном АІР 132 М4 потужністю 11 кВт з номінальною частотою обертання 1500 об/хв. Вентилятор ВЦ9-57 №5 відпрацював термін, що значно перевищує термін служби, гарантований виробником, потребує заміни у відповідності до рекомендацій виробника.

Важливо, що в печах марки ПХК передбачена система примусового відводу надлишкової пари та конденсату з зони зволоження. Це малопотужна витяжна система.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| | | | | | | 21 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Вона облаштована малопотужним вентилятором марки Ц13-50 № 2, який приводиться до обертання електродвигуном потужністю 1,1 кВт з частотою обертання валу 2860 об/хвил [4].

1.3.3. Системи автоматичного захисту обладнання та контролю основних режимів печі ПХК 16. Система автоматизації печі типу ПХК забезпечує контроль основних технологічних параметрів, автоматичне регулювання температурного режиму пекарної камери, аварійну сигналізацію і автоматичних захист від ймовірного вибуху або перегріву.

Основними контрольними параметрами є наступні

- тиск парогазової суміші, спрямованої до зони зволоження. Встановлене обладнання – манометр марки ОБМ-160;
- розрідження у топці печі, обладнання – рідинний тягонапометр ТНЖ
- тиск газу у газовій магістралі та газовій камері пальника; обладнання – манометр марки ОБМ-160
- розхід газу; обладнання – манометр марки ОБМ-160 ротвційний лічильник марки РГ-40
- час випікання; обладнання – тахогенератор і вольтметр зі шкалою, проградуєваною у хвилинах
- контроль температурних режимів зонах пекарної камери, що забезпечується термометрами марки ТНГ_СК, що встановлені у вузлових точках і визначають температуру гріючих газів, теплоносію в зоні рециркуляції, а також у визначених зонах пекарної камери.

Автоматичне регулювання температурних режимів пекарної камери забезпечується електронним регулятором по двом параметрам: основний сигнал – по термопарі, що встановлена в топці печі, коригуючий сигнал – по температурі термопарі, що встановлена в першій зоні пекарної камери. Керуючий сигнал подається через реверсивний магнітний контактор ПКР 058 на привід виконавчого механізму ПР-1М, який регулює ступінь відкриття клапану, що подає газ на пальник [4].

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| | | | | | | 22 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Вмикання електрозапальника і подача газу на горілку відбувається тільки після продувки печі протягом 5-6 хвилин.

Термін продувки визначається за допомогою реле часу ВС-10.

Аварійне відключення пальника організоване у такий спосіб:

- при недостатньому розрідженні в топці печі внаслідок виходу з режиму вентилятора рециркуляції падає «прапорець» спрацьовує реле потоку повітря РГ1В і запускає механізм відсічі подачі газу на пальник, при цьому вмикається звуковий сигнал;
- при загасанні факелу пальника автомат контролю полум'я АКЛ-П запускає механізм відсічі подачі газу на пальник;
- при підвищенні допустимої температури в топці печі аналогічно запускається механізм відсічі подачі газу на пальник.

1.4 Об'єкт дослідження і мета проекту

Об'єктом дослідження є рециркуляційний вентилятор хлібопекарної печі, призначений для формування потоку теплоносія у пекарній камері.

Мета проекту – розробка надійного електроприводу рециркуляційного вентилятору з ефективним використанням спожитої електроенергії.

Завдання проекту - розробка частотно-регульованого електроприводу рециркуляційного вентилятору для зменшення пускового струму двигуна та механічного моменту під час розгону, відповідно для зменшення навантаження на лінії живлення і зменшення ймовірності аварії внаслідок перевантаження, подовження терміну безаварійного використання електромеханічного обладнання, запобігання призупинення технологічного процесу внаслідок короткочасних коливань напруги живлення.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 23 |

2. Розрахунково-конструкторська частина

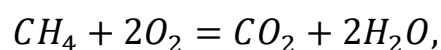
2.1. Вибір рециркуляційного вентилятору. Формування гідродинамічного потоку в каналній системі потребує роботи вентилятора, який створює розрідження і перепад тиску в каналній системі. Таким вентилятором є циркуляційний вентилятор 12 (рис.1.3), який забезпечує роботу пальника у номінальному режимі, примусову циркуляцію продуктів згорання в системі опалювання, а також підтримує розрідження в усій системі розігріву пічної камери.

Проведемо оцінки параметрів вентилятору. Серед параметрів, приведених в опису режимів роботи печі, виділяємо такі.

Надлишковий тиск газу, під яким він подається в камеру згорання 2,5 кПа.

Відповідно, рециркуляційний вентилятор 12 має створити розрідження такої ж величини, щоб всмоктати необхідну кількість повітря, яка забезпечує згорання газу в оптимальному режимі. Слід врахувати, що коло транспортування теплоносія достатньо розгалужене, довжина кожної гілки дорівнює подвоєній довжині печі ($8 \text{ м} \cdot 2 = 16 \text{ м}$). Відповідно, вентилятор має створювати розрідження дещо вище, ніж 2,5 кПа. Цей параметр має назву напор і повинен задовольняти умові $P_V \geq 2,5 \text{ кПа}$.

Другим параметром, за яким обирають вентилятор, є **розхід газової суміші** Q ($10^3 \text{ м}^3/\text{год}$). За паспортними даними швидкість спалювання газу одним пальником під час роботи печі становить $470 \text{ м}^3/\text{год}$. Горіння палива – це хімічна реакція окислення його горючих компонентів, що протікає із значним тепловиділенням. Горіння природного газу описує хімічна реакція



з якої випливає, що для повного згорання 1 м^3 газу потрібно 2 м^3 чистого молекулярного кисню.

В газовий пальник подається повітря – суміш газів



| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 24 |

З урахуванням складу повітря для повного згоряння метану повітря необхідно у 4,8 разів більше, ніж чистого кисню. Таким чином, для згоряння 470 м^3 потрібно повітря $470 \text{ м}^3 \cdot 2 \cdot 4,8 = 4500 \text{ м}^3$. Отже розхід топочних газів для рециркуляційного вентилятору приймаємо рівним

$$Q \cong 4,5 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Враховуючи принципову роль рециркуляційного вентилятора, при розробці проекту визначено недоцільним відходити від рекомендацій виробника печі ПХК-16 щодо основних параметрів вентиляційної системи. При комплектації пічного агрегату виробник використав рециркуляційний вентилятор марки ВЦ9-57 №5 з електродвигуном потужністю 7,5 кВт і частотою обертання $n = 1460$ об/хвилину [4,5]. Вентилятор ВЦ9-57 №5 відпрацював термін, що значно перевищує термін служби, гарантований виробником, і потребує заміни.

За даними виробника «Укрвентсистеми» на даний час вентилятор марки ВЦ9-57 знятий з виробництва і на заміну пропонується вентилятор відцентровий ВЦ 14-46 №5, який споряджений електричним двигуном АІР 132 М4 потужністю 11 кВт з номінальною частотою обертання 1500 об/хв. [6,7] Видно, що частота обертання валу двигунів однакова, а електрична потужність вентилятору АІР 132 М4 (11 кВт) перевищує необхідне значення. Номінальна частота обертання має регулюватися за допомогою частотного перетворювача в процесі налагодження частотно-регульованого електроприводу.

До параметрів, що характеризують вентилятор, відносять

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

P_V – надлишковий тиск (або розрідження), Па

n - частота обертання робочого колеса

На рис.2.1 показана діаграма аеродинаміки вентилятору ВЦ 14-46 №5. Визначені параметри відповідають його аеродинамічним характеристикам [6].

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| | | | | | | 25 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Вся робоча характеристика циркуляційного вентилятора лежить в області розрідження.

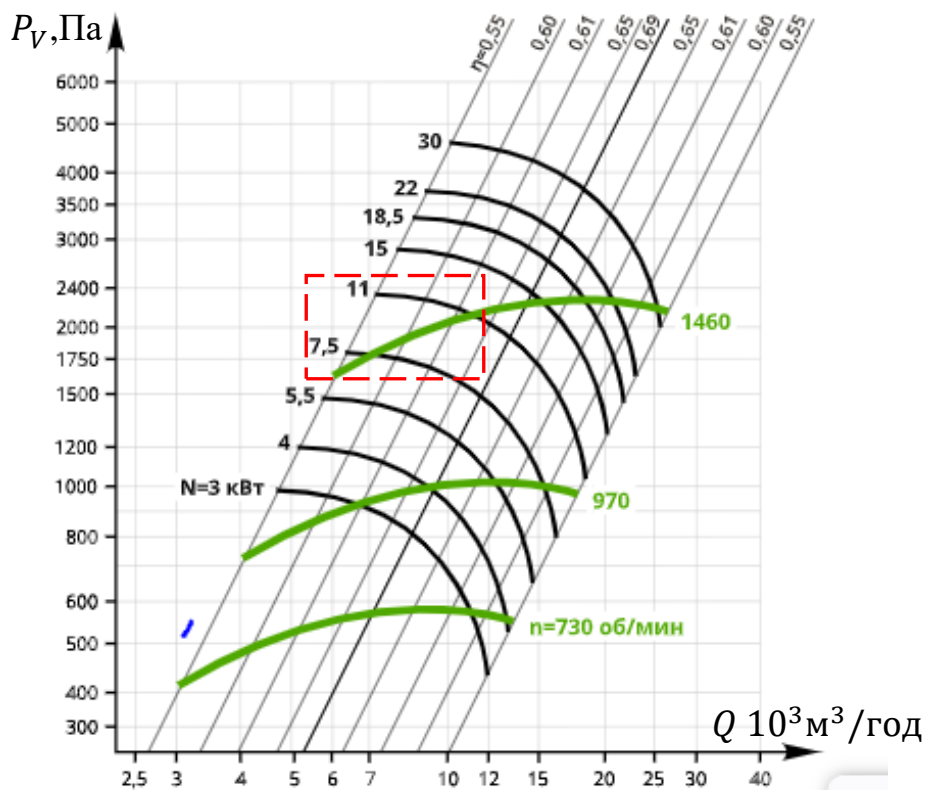


Рис.2.1. Діаграма аеродинаміки вентилятору ВЦ 14-46 №5 [6]

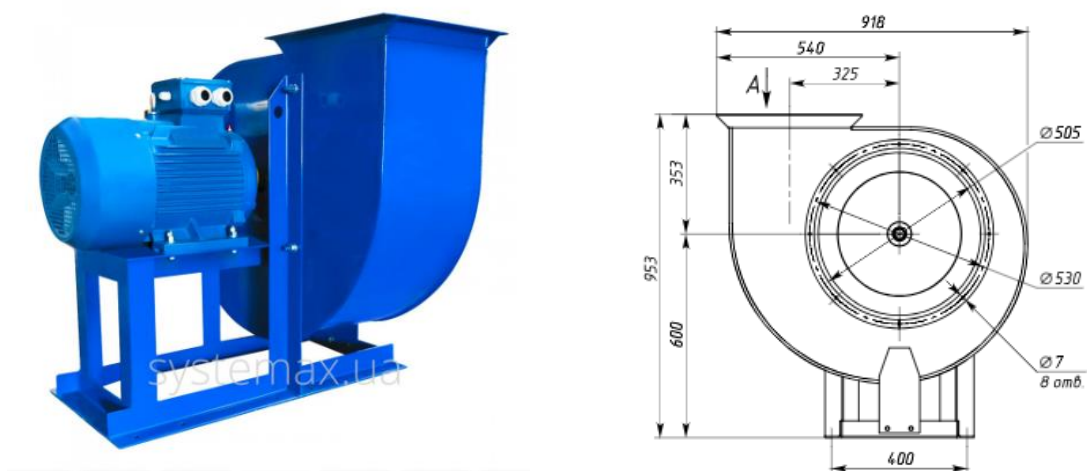


Рис.2.2. Зовнішній вигляд вентилятору ВЦ 14-46 №5

a – зовнішній вигляд , *б* – габаритні розміри [6]

Як видно з рис. 2. 2 вентилятор має перше конструктивне виконання, тобто робоче колесо закріплене на валу електродвигуна.

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

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2

Арк.

26

Формат А4

Вентилятор ВЦ 14-46-5 застосовується в системах кондиціонування повітря, для вентиляції виробничих приміщень, організації газового опалення, а також для інших санітарно-виробничих цілей.

Вентилятори ВЦ 14-46-5 призначені для експлуатації в умовах помірного клімату 2-ї категорії розміщення по ДЕСТ 15150, що відповідає умовам України 5049

Вентилятори ВЦ 14-46-5 призначені для переміщення повітря та інших газових сумішей, агресивність яких по відношенню до вуглецевої сталі звичайної якості не вище агресивності повітря з температурою до 80°C. Для нашого випадку це означає, що через робочу зону вентилятору має проходити теплоносії, температура якого знизилась після одного циклу до 80°C. У печі ПХК 16 у всмоктувальному патрубку 11 (рис.1.3) температура падає до 50°C, тобто задана умова виконується.

Умовою безаварійної роботи вентилятору є також відсутність пилу та інших твердих домішок у кількості більше 0,1 г / м³, а також липких речовин і волокнистого пилу. У каналах розподілення теплоносію ця умова так само виконується.

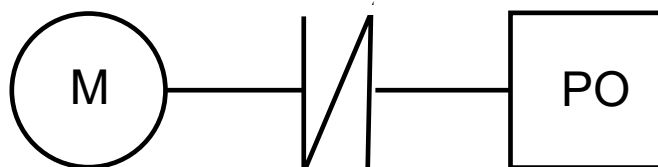


Рисунок 2.3 – Кінематична схема вентилятора

Кінематична схема вентилятора представлена на рисунку 2.3. 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 (на схемі не позначена).

Вентилятор, який розглядається в даному дипломному проекті працює у довготривалому режимі роботи.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 27 |

Користуючись параметрами Таблиці 2.1 розраховуємо потужність вентилятору за формулою

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

Перед виконанням розрахунків переводимо $Q_{\text{НОМ}} = 4500 \text{ м}^3/\text{год}$ в систему SI, тобто $Q_{\text{НОМ}} = 4500 \text{ м}^3/3600 \text{ с} = 1,25 \text{ м}^3/\text{сек}$

$$P_{\text{ВЕНТ}} = \frac{Q_{\text{НОМ}} \cdot H_{\text{НОМ}}}{\eta} = \frac{1,25 \cdot 2500}{0,61} = 5122 \text{ Вт} \quad (2.1 \text{ а})$$

У таблиці 2.1 приведені номінальні параметри вентилятора ВЦ 14,46-5, і зазначений електродвигун АИР132М4 який надається у комплектації.

Таблиця 2.1. Номінальні параметри вентилятора ВЦ 14-46-5

| Тип вентилятора | Оберти вентилятора, об/хвил | Приводний двигун | Потужність двигуна, кВт | Номінальний ККД | Продуктивність вентилятора, м ³ /год | Тиск, Па | Маса, кг |
|--|-----------------------------|------------------|-------------------------|-----------------|---|----------|----------|
| ВЦ 14-46-5 | 1450 | АИР132М4 | 11 | 0,61 | 4500 | 2200 | 72 |
| За даними https://gradvent.com/ventilyatory/ventilyatory-radialnye/vts-14-46 Ціна 16 763 грн з ндс | | | | | | | |

З вигляду кінематичної схеми (рис.2.3) та за загальними уявленнями теорії електроприводу потужність двигуна має перевищувати потужність робочого органу (вентилятору) [9]. Найближчим за цим показником є електродвигун з потужністю 11 кВт. Нижче приведена таблиця з його номінальними параметрами [7,8].

Таблиця 2.2. Номінальні параметри електродвигуна АИР132М4

| Тип двигуна | $P_{\text{НОМ}}$, кВт | $n_{\text{НОМ}}$, об/хв | ККД, % | $\cos\varphi$ | $\frac{I_n}{I_{\text{НОМ}}}$ | $\frac{M_n}{M_{\text{НОМ}}}$ | $\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{НОМ}}}$ | $\frac{M_{\text{min}}}{M_{\text{НОМ}}}$ |
|-------------|------------------------|--------------------------|--------|---------------|------------------------------|------------------------------|---|---|
| АИР132М4 | 11,0 | 1450 | 87,5 | 0,86 | 6,5 | 2,3 | 2,7 | 2,0 |

| | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|--|--|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | 28 |

Параметри, приведені в таблицях 2.1 і 2.2 дозволяють розрахувати механічну потужність, що передає двигун на робоче колесо вентилятору

$$P_{\text{МЕХ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta_{\text{ДВИГ}} = 11000 \cdot 0,86 \cdot 0,875 = 8230 \text{ кВт} \quad (2.2)$$

потужність потоку теплоносія на виході з сопла вентилятору

$$P_{\text{ПОТОКУ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta_{\text{ДВИГ}} \cdot \eta_{\text{ВЕНТ}} = 8230 \cdot 0,61 = 5049 \text{ кВт} \quad (2.3).$$

При такому співвідношенні потужностей є ресурс, щоб корегувати параметри потоку з використанням можливостей частотно-регульованого електроприводу.

2.2 Визначення номінальних параметрів роботи електродвигуна

При розрахунках користуємось Таблицю 2.2. номінальних параметрів електродвигуна АИР132М4, зазначених у його паспорті.

2.2.1 Розраховуємо номінальний струм двигуна

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

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{1\text{НОМ}} \cdot \eta'_{1\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi'_{1\text{НОМ}}} = \frac{11000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87 \cdot 0,9} = 21 \text{ А}$$

$m_1 = 3$ - число фаз обмотки статора.

Виходячи з зазначеного відношення пускового та номінального струмів

$$\frac{I_n}{I_{\text{НОМ}}} = 6,5$$

розраховуємо пусковий струм

$$I_{\text{П}} = 7 \cdot I_{\text{НОМ}} = 6,5 \cdot 21 \text{ А} = 137 \text{ А} \quad (2.5)$$

2.2.2 Розраховуємо номінальний механічний момент на валу двигуна

Виходимо з виразу

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

де ω – циклічна частота обертання ротора $n_{\text{НОМ}} = 1450$ об/хв при номінальній частоті обертання магнітного поля статора $n_{\text{СНОМ}} = 1500$ об/хв.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| | | | | | | 29 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

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

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{НОМ}}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1450}{60} = 151,7 \text{ рад/с} \quad (2.7)$$

Підставляємо це значення у вираз (2.3) і отримуємо

$$M_{\text{МЕХ}} = \frac{11000}{151,7} = 72,5 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.8)$$

За паспортними даними номінальний обертаючий момент $M_{\text{НОМ}} = 72,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$, тобто збігається з виконаними розрахунками. Порівняємо його з механічним моментом вентилятора

$$M_{\text{ВЕНТ}} = \frac{P_{\text{ВЕНТ}}}{\omega} = \frac{8479}{151,7} = 55,78 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Розраховуємо пусковий обертаючий момент

$$M_{\text{П}} = 2,3 \cdot M_{\text{НОМ}} = 2,3 \cdot 72,5 = 167 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.9)$$

Розраховуємо максимальний допустимий обертаючий момент

$$M_{\text{max}} = 2,7 \cdot M_{\text{НОМ}} = 2,7 \cdot 72,5 = 195 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.10)$$

2.2.3 Розраховуємо номінальне ковзання

$$s_{\text{НОМ}} = \frac{n_0 - n_{\text{НОМ}}}{n_0} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0,033 \quad (2.11)$$

2.2.4 Природна механічна характеристика двигуна

Побудуємо механічну характеристику двигуна за формулою Клосса-Чекунова

$$M = \frac{2 \cdot M_K + (s^2 - s_K^2) \cdot K_C}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}} \quad (2.12)$$

Розраховуємо необхідні додаткові параметри.

Критичне ковзання

$$s_K = s_{\text{НОМ}} \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,033 \cdot (2,7 + \sqrt{2,7^2 - 1}) = 0,171$$

$$\text{У цьому виразі } \lambda = M_{\text{max}}/M_{\text{НОМ}} = 2,7$$

Параметр K_C

$$K_C = \frac{2,7 \cdot \left(\frac{1}{0,171} + 0,171 \right) - 2}{1 - 0,0294} = \frac{2,7 \cdot 6,018 - 2}{0,971} = 14,68$$

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

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2

Арк.

30

Тепер можемо отримати механічну характеристику $M(s)$, підставивши всі розраховані значення у вираз (2.9)

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_K + (s^2 - s_K^2) \cdot K_C}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}} =$$

$$M(s) = \frac{2 \cdot 195,7 + (s^2 - 0,0294) \cdot 14,68}{\frac{s}{0,171} + \frac{0,171}{s}} =$$

У кінцевій формі маємо залежність $M(s)$ з числовими коефіцієнтами

$$M(s) = \frac{392,4 + (s^2 - 0,0294) \cdot 14,68}{\frac{s}{0,171} + \frac{0,171}{s}}$$

і застосовуємо для будови графіку $M(s)$ з використанням MathCAD (рис.2.4)

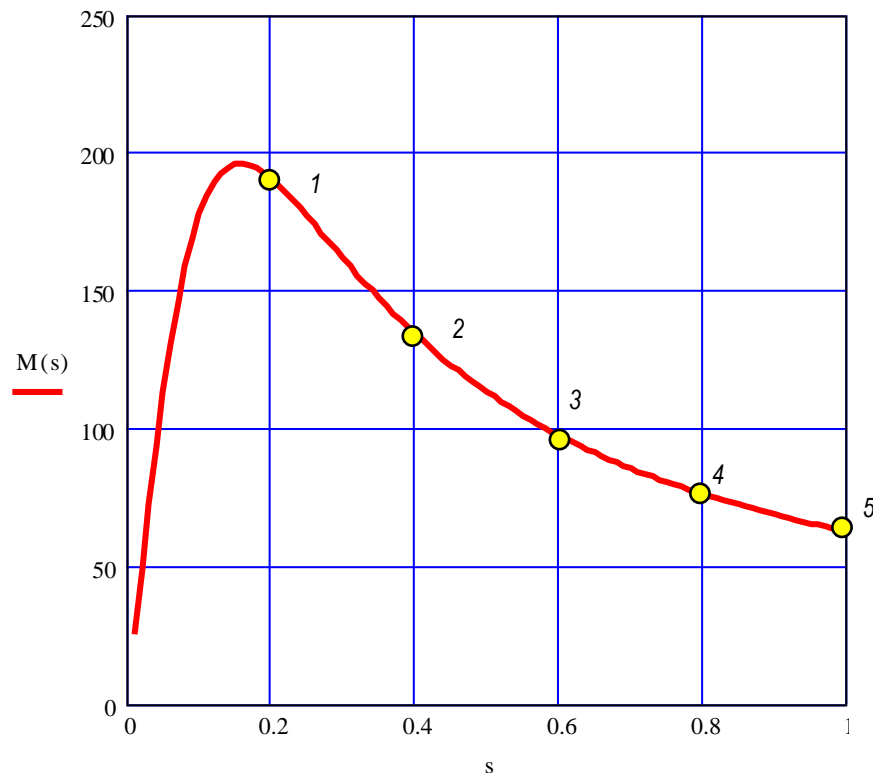


Рис.2.4

Більш зручний і найчастіше застосовуваний вигляд механічної характеристики – це залежність $n(M)$. На рис.2.4 на горизонтальній осі відкладений параметр ковзання. Щоб від ковзання s перейти до частоти обертання n , скористуємося формулою (2.8). Після перетворень отримуємо

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \Rightarrow n = n_0 \cdot (1 - s). \quad (2.13)$$

З цієї формули розраховуємо частоту обертання, тоді можемо побудувати механічну характеристику $n(M)$.

Таблиця 2.3.

| | | | | | | | | | | | |
|-----|------|------|------|------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| | | | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | 5 |
| s | 0 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 1 |
| n | 1500 | 1350 | 1275 | 1200 | 1050 | 900 | 750 | 600 | 450 | 300 | 0 |
| M | 0 | 175 | 195 | 185 | 162,5 | 145 | 125 | 95 | 83 | 75 | 60 |

У таблиці 2.3 записані відповідні пари значень ковзання s та моменту M для точок 1-5, показаних на графіку $M(s)$ на рис.2.4, а також для решти, не позначених на графіку. У таблиці 2.3 також записані відповідні частоти n , розраховані з виразу (2.10). По парам значень моменту та частоти будемо залежність $n(M)$ - механічну характеристику (рис.2.5)

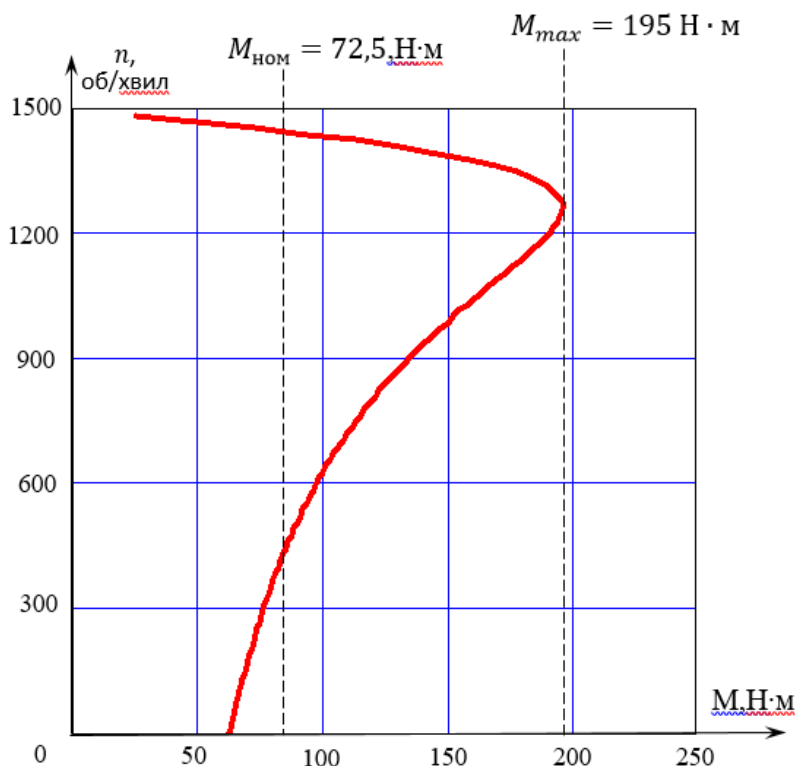


Рис.2.5

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

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2

Арк.

32

2.2.5 Розрахунок жил кабелю живлення електроприводу вентилятора

При розрахунку перерізу проводів жил кабелю виходимо з значення струму приводу машини та допустимого нагрівання.

За формулою (2.4) визначили розрахований струм приводу машини $I_{\text{НОМ}} = 21 \text{ А}$.

При напрузі живлення до 1000 В необхідно виходити з допустимого нагрівання при довгостроковому нагріванні розрахунковим струмом.

Довгостроково-припустимий струм на проводи або жилі кабелю зв'язаний з розрахунковим струмом 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

Виконуємо розрахунки

$$I_{\text{НАГР_ДОП}} = \frac{21}{1 \cdot 0,85} = 24,7 \text{ А}$$

Отримане значення $I_{\text{НАГР_ДОП}} = 25 \text{ А}$, та за таблицею [9] визначаємо переріз кожної жили $S = 3 \text{ мм}^2$. 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 вважаючи що довжина кабелю 100 м.

$$\Delta U = I_{\text{НОМ}} \cdot \frac{\rho \cdot l}{S} = 21 \cdot \frac{0,0175 \cdot 10^{-6} \cdot 100}{3 \cdot 10^{-6}} = 11,76 \text{ В}$$

Визначаємо падіння напруги у відносних одиницях

$$\delta = \frac{\Delta U}{U_{\text{НОМ}}} = \frac{12}{380} = 0,0315 \approx 3\%$$

і становить 3% від напруги живлення, що є припустимим для даної системи.

Вибираємо кабель чотирижильний гнучкий марки FG7R-0.6/1 3x3 мм²+ 1x1,5 мм²

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 33 |

2.3. ВИБІР СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ТА ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ

2.3.1 Загальні відомості щодо систем керування електроприводу.

Системи керування електроприводу визначаються умовами роботи технологічного обладнання, технічними вимогами щодо забезпечення стабільних режимів роботи, забезпечення безаварійної його експлуатації.

Приводом вентилятора є асинхронний двигун (АД) з короткозамкненим ротором. У даний час використовують такі системами керування [11,12]

- пуск, реверс та захист асинхронного двигуна за допомогою релейно-контакторної схеми (РКС-АД) ;
- пуск та керування режимами роботи асинхронного двигуна за допомогою тиристорного перетворювача потужності (ТРН-АД);
- пуск, керування режимами роботи та захист асинхронного двигуна з використанням частотного регулювання, у схемі керування присутній перетворювач частоти (ПЧ-АД).

Релейно-контакторні системи управління (РКС) – це логічні системи управління, які виконані на релейно-контакторній елементній базі (магнітні пускачі, теплові реле, контактори, геркони), які можуть виконати автоматичний пуск, гальмування, зупинку електродвигуна, його реверсне обертання, а також забезпечити його захист.

Позитивними якостями системи РКС-АД є а) значна комутаційна потужність; б) висока перешкодостійкість; в) гальванічне розв'язання силових кіл та кіл керування.

Недоліками РКСУ є контактна комутація, яка потребує уважного ставлення до котактуючих елементів апаратури, обмежений термін працездатності, значні показники енергоспоживання та масогабаритів обладнання.

На даний час РКСУ продовжують використовуватися для управління потужним електромеханічним обладнанням, яке не потребує тонкого керування режимами роботи. Система керування РКС-АД має малу вартість та дешеве обслуговування.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| | | | | | | 34 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Але вона є відносно застарілою, не має можливості регулювання, що призводить до великих енергетичних втрат, якщо двигун має працювати на малих обертах.

Система керування ТРН-АД має високу вартість у порівнянні з релейно-контакторною, але має ширші 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. Тому система керування ТРН-АД на даний час має найширше використання.

2.3.2. Переваги електроприводу керованого системою ПЧ-АД. Система ПЧ-АД є найбільш перспективною. Вона дає можливість не тільки плавного пуску електродвигуна, але і широкий діапазон регулювання, різноманітні типи захисту двигуна від аварійних ситуацій.

ПЧ для асинхронних двигунів забезпечують роботу електроприводу з коефіцієнтом потужності більше 0,95 ($\cos\varphi_{\text{кном}} \geq 0,095$), отже, у випадку застосування ПЧ, індивідуальної установки для компенсації реактивної потужності двигуна не потрібні.

ПЧ дозволить регулювати частоту обертання двигуна електроприводу вентилятора для підвищення якісних та кількісних характеристик його роботи, а також для зниження питомих витрат електроенергії [11].

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.

Необхідність використання такої системи керування електроприводом рециркуляційного вентилятору обумовлена таким. По-перше, значні імпульси струму та піки моменту обертового механічного моменту на валу вентилятора

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 35 |

можуть спричинити різке розрідження парогазової суміші та аварійне відключення пальника. Крім того, при реконструкції пічного агрегату виникла потреба з заміни морально застарілого вентилятору (знятого з виробництва) іншим вентилятором аналогічної конструкції, але з деяким відмінностями номінальних параметрів. Система керування ПЧ-АД дозволяє плавно змінювати частоту обертання валу двигуна, щоб вентилятор створив параметри потоку теплоносія (розхід, швидкість), що відповідають параметрам первинного устаткування. Таким чином, використання ПЧ-АД системи керування електроприводом обумовить стабільний режим роботи пальника пічної камери на стадії запуску печі.

Ще одним аргументом для використання перетворювачі частоти у даному дипломному проєкті є здійснення ним функції енергозбереження. Ця система керування забезпечує роботу системи електроприводу з максимальним ККД та максимальним коефіцієнтом потужності двигуна при значних змінах навантаження. Перетворювачі захищають двигуни від струмів короткого замикання і перевантаження, обриву і перекосу фаз, мають вбудований ПД-регулятор і легко інтегруються в будь-яку систему автоматичного управління за допомогою вбудованих в них інтерфейсів RS-232/RS-485.

Вбудований ПД-регулятор (пропорційно-інтегрально-диференціюючий регулятор) – пристрій у керуючому контурі із зворотним зв'язком. ПД-регулятор використовується в системах автоматичного управління для формування керуючого сигналу для отримання необхідної якості перехідного процесу. Сигнал ПД-регулятора має три складові: перша пропорційна різниці вхідного сигналу та сигналу зворотного зв'язку, сигнал неузгодженості; друга пропорційна інтегралу від сигналу неузгодженості, третя пропорційна похідній від сигналу неузгодженості.

У даному проєкті використовуємо ПЧ без зворотних зав'язків, тому що стоїть задача тільки сповільнити розгін до номінальних обертів і вихід на робочий режим без пікового навантаження у перехідному процесі, характерному для прямого пуску асинхронного двигуна.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 36 |

Використання перетворювача частоти в контурі регулювання електропривода вентилятора, що формує потік теплоносія в хлібопекарній камері, дозволяє отримати значний економічний ефект.

2.3.3. Робочі характеристики електричної машини з керованим електроприводом по системі ПЧ-АД

За розрахунками, представленими у підручнику [8], відомо, що найкращим режимом керування асинхронним двигуном є такий при якому магнітний потік Φ залишається незмінним. Такій умові відповідає рівність

$$\frac{U}{f} = const \quad (2.14)$$

Використання частотного перетворювача із скалярним керуванням роботою електроприводу дозволяє реалізувати одночасну зміну обох параметрів, таким чином щоб відношення U/f залишалось незмінним у широкому діапазоні зміни механічного навантаження, зміни напруги або зміни частоти.

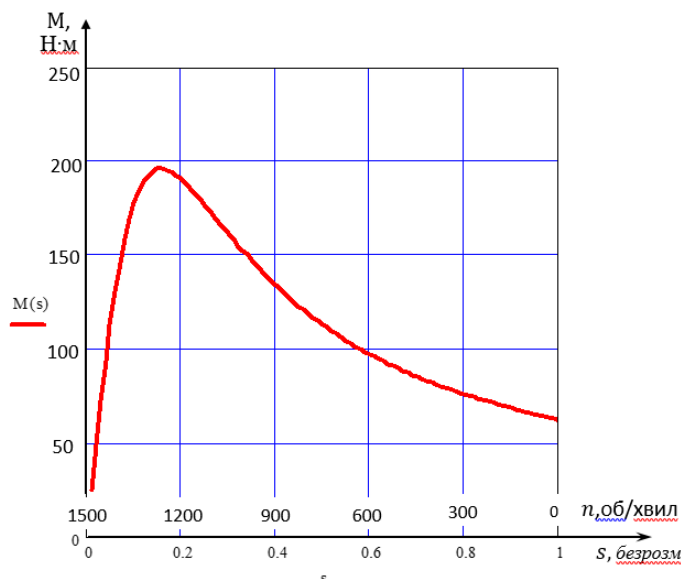


Рис.2.6

У розділі 2.2.4 показано, як, виходячи з формули Клоса-Чекунова, побудувати механічну характеристику у вигляді графічної залежності $n(M)$. Причому на горизонтальні осі можна одночасно відкласти два параметри, лінійно зв'язані між собою.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 37 |

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

З цієї формули розраховуємо частоту обертання, тоді можемо побудувати механічну характеристику $n(M)$

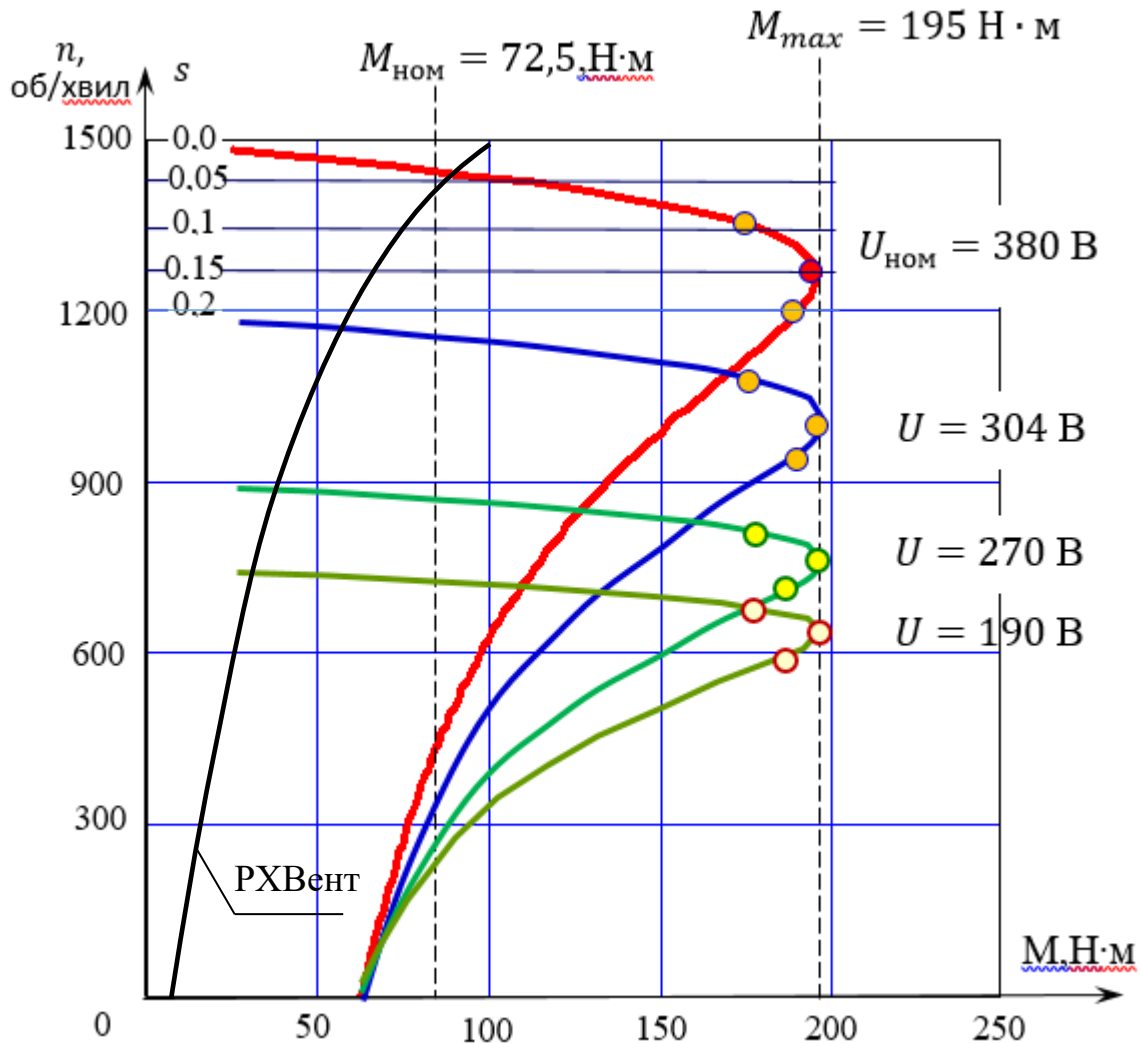


Рис.2.7

При номінальній напрузі частота обертання поля статора становить 1500 об/хвил . Показана нижче таблиця відповідає параметрам червоної кривої, що характеризує природну механічну характеристику.

| $U_{ном} = 380$ В , $n_0 = 1500$ об/хвил | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| s | 0 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 1 |
| n | 1500 | 1350 | 1275 | 1200 | 1050 | 900 | 750 | 600 | 450 | 300 | 0 |
| M | 0 | 175 | 195 | 185 | 162,5 | 145 | 125 | 95 | 83 | 75 | 60 |

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

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2

Арк.

38

Формат А4

Решта кривих на рис.2.7 відповідають штучним механічним характеристикам, розрахованим для знижених напруг

Напругу зменшили на 20%, пропорційно зменшується частота обертання

| $U = 304 \text{ В}, n_0 = 1200 \text{ об/хвил}$ | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| s | 0 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0 |
| n | 1200 | 1080 | | 960 | 840 | 720 | 600 | 480 | 360 | 240 | 120 | 0 |
| M | 0 | 175 | 195 | 185 | 162,5 | 145 | 125 | 95 | 83 | 75 | 60 | 60 |

Напругу зменшили на 40%, пропорційно зменшується частота обертання

| $U = 270 \text{ В}, n_0 = 900 \text{ об/хвил}$ | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| s | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 1 |
| n | 900 | 810 | 720 | 630 | 540 | 450 | 360 | 270 | 180 | 0 |
| M | 0 | 200 | 350 | 425 | 450 | 430 | 415 | 385 | 370 | 320 |

Четверта крива відповідає напрузі, зменшеній вдвічі відносно номінальної

| $U = U_{\text{ном}}/2 = 190 \text{ В}, n_0 = 750 \text{ об/хвил}$ | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| s | 0 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 1 |
| n | 750 | 675 | 638 | 600 | 525 | 450 | 375 | 300 | 225 | 150 | 0 |
| M | 0 | 175 | 195 | 185 | 162,5 | 145 | 125 | 95 | 83 | 75 | 60 |

Висновок. У даному дипломному проєкті використання перетворювача частоти спрямовано на розв'язання двох технічних задач

1- Зменшення пускового струму рециркуляційного вентилятору в 2-3 рази.

Для електродвигуна потужністю 11 кВт пусковий струм при прямому пуску становить

$$I_{\text{п}} = 7 \cdot I_{\text{ном}} = 6,5 \cdot 21 \text{ А} = 137 \text{ А}$$

Такий струм є небезпечним для обмоток електродвигуна, а також жил кабелю електроприводу.

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

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2

Арк.

39

Крім того, під час прямого пуску двигуна такої потужності відбувається суттєве зниження напруги у внутрішній мережі електропостачання, що створює додаткові труднощі: знижується пусковий момент двигуна і моменти обертання інших працюючих двигунів, а також зменшується світловий потік електричних джерел світла.

Для двигунів потужністю більше $P_{ном} > 7,5$ кВт рекомендовано застосування схеми пуску двигунів при з'єднанні обмоток фаз статора зіркою із наступним переключенням їх на трикутник. Це дозволяє зменшити пусковий струм двигуна в 1,7 рази, але при цьому пускова потужність зменшується у 3,0 рази, і пусковий момент двигуна знижується у 3,0 рази.

Як видно з рис.2.7, при пропорційному зниженні частоти обертання і напруги **не відбувається** зниження пускового моменту.

2- Рециркуляційний вентилятор виконує дві функції: по перше, створює необхідне розрідження для роботи пальника нагрівача в оптимальному режимі; по друге формує потік теплоносія по окремим секціям пекарної камери, який забезпечує заданий режим розігріву тістових заготовок, тобто забезпечує якість кінцевого продукту. Перетворювач частоти забезпечує точність підтримки заданої частоти обертання $n_{реж}$. Відхилення частоти від заданого значення не перевищує 5%, тобто $n = n_{реж} \pm 5\%$. Це є достатньою точністю для підтримки технологічного режиму.

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

Скалярне регулювання забезпечує виконання умови $U/f = const$, відносно простим способом організоване в обладнання 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

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 40 |

відслідковується щомиті зміна взаємної орієнтації вектору магнітного поля статора і вектору індукції поля, 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. І для нашої поставленої задачі достатнім було б використання ПЧ із скалярним регулюванням швидкості. Але складна система внутрішнього керування дозволяє організовувати режими керування роботою котельних установок, газових пальників. Враховуючи, що така технічна задача може бути поставлена при подальшому удосконаленні хлібопічного агрегату, використаний більш коштовний варіант перетворювача частоти, у якому реалізовані обидві системи керування режимами роботи обладнання.

Такими є частотні перетворювачі типу ACS310 шведсько-швейцарської компанії АВВ. Далі при виборі частотного перетворювача керуємося наступними параметрами:

- він має керувати роботою обладнання, підключеного то трифазної мережі,
- його розрахункова потужність має бути не меншою ніж потужність керованого обладнання (11 кВт),
- максимально допустимий струм не менший ніж лінійний струм двигуна, що працює у стаціонарному режимі.

Таким вимогам задовольняє перетворювач частоти марки ACS310-03E-34A

Таблиця 2.4

| | |
|-------------------------|----------------------------|
| Компанія АВВ, засновник | шведсько-швейцарська комп. |
| Країна виробник | Фінляндія |
| Номинальна потужність | 15 кВт |
| Номинальний струм | 31 А |

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 41 |

| | |
|---|--|
| Номинальна напруга | 380÷400 В |
| Підключення до мережі: номинальні параметри, допустимі відхилення | 3x380 В, +10%, -15%, 50(60) Гц ± 2% (із заземленою або ізольованою нейтраллю) |
| Вихідна напруга | 3x(0...380 В) ± 2% (значення максимальної вихідної напруги програмується) |
| Коефіцієнт корисної дії | не менше 0,95 (без двигуна) |
| Коефіцієнт потужності | не менше 0,95 |
| Умови навколишнього середовища: | робоча температура +1 ...+50°C, |
| Короткочасне зменшення напруги в мережі, при якому, при якому електропривод зберігає працездатний стан | - 40% |
| https://shop-iwt.com.ua/ua/p1893663803-abb-ac310-03e.html | |
| Ціна 2024 р. 33987 грн | |



Габаритні розміри
244 x 260 x 169 мм

Рис.2.8 Зовнішній вигляд ПЧ ACS310-03E-34A

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

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2

Арк.

42

3. Імітаційне моделювання електроприводу в середовищі *Simulink*

3.1. Загальні уявлення. Сучасний рівень комп'ютерних технологій дозволив зробити значний крок від розв'язання суто математичних задач до дослідження реальних технічних об'єктів і систем. При виконанні даного дипломного проекту можна відмовитися від програмування складних чисельних розрахунків, роботи з матрицями, функціями, та реалізувати імітаційне моделювання досліджуваного об'єкту.

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. Імітаційні моделі будують для дослідження соціальних процесів, аналізу транспортних і логістичних проблем, прогнозування у фінансовій та економічній сферах діяльності. На ринку програмного забезпечення для таких задач запропоновані AnyLogik, Arena, GPSS World.

Імітаційне моделювання використовується для розв'язання складних задач інженерної механіки, схемотехніки, енергорозподілення та інших задач науково-технічного спрямування. 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 інтегродиференціальних рівнянь відповідними методами, підготовки виводу результату у зручному форматі). У даному розділі з використанням визначених параметрів схеми заміщення та паспортних даних створюємо імітаційну модель трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором та схему для дослідження його характеристик.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 43 |

3.2. Визначення параметрів схеми заміщення за паспортними даними. Параметри схеми заміщення, необхідні для створення імітаційної моделі асинхронного двигуна, можна розрахувати за представленим нижче скороченим алгоритмом.

Для визначення параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором рекомендовані наступні формули [14] :
активний опір фази обмотки ротора

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

активний опір фази обмотки статора

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

індуктивність фази обмотки статора:

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

приведена індуктивність розсіювання в обмотці ротора:

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

індуктивність в контурі намагнічування.

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

Як видно, у цьому переліку формул при визначенні параметрів використовуються паспортні дані двигуна, або такі, що розраховані з паспортних даних..

Таблиця 3.1

| | | |
|----------------------|-------------------------|--------|
| P_H | Номінальна потужність | 11 кВт |
| U | Напруга мережі живлення | 380 В |
| I_H | Лінійний струм фази | 21 А |
| f_1 | Частота | 50 Гц |
| $\eta'_{\text{ном}}$ | ККД | 0,87 |

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 44 |

| | | |
|-------------------|-------------------------------|------------------------|
| $\cos \varphi'$ | Коефіцієнт потужності | 0,86 |
| S_H | Номінальне значення ковзання | 0,033 |
| $P_{\text{мех}}$ | Механічні втрати | $(0,01 \div 0,05) P_H$ |
| $M_{\text{макс}}$ | Максимальний обертовий момент | 195 Н·м |
| k_I | Коефіцієнт пускового струму | 6,5 |
| C | Коефіцієнт приведення | 1,01 ÷ 1,05 |

Для зручності повторюємо таблицю 2.2 з паспортними даними двигуна, що застосований у проектуваному електроприводі, АИР132М4 Українського виробництва

| № варіант | Тип двигуна | $P_{\text{НОМ}}$, кВт | $n_{\text{НОМ}}$, об/хв | ККД, % | $\cos \varphi$ | $\frac{I_n}{I_{\text{НОМ}}}$ | $\frac{M_n}{M_{\text{НОМ}}}$ | $\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{НОМ}}}$ | $\frac{M_{\text{min}}}{M_{\text{НОМ}}}$ |
|-----------|-------------|------------------------|--------------------------|--------|----------------|------------------------------|------------------------------|---|---|
| 9 | АИР132М4 | 11,0 | 1450 | 87,5 | 0,86 | 6,5 | 2,3 | 2,7 | 2,0 |

З використанням цих параметрів проводимо розрахунки моделі для дослідження режимів роботи електродвигуна на імітаційній моделі

Визначення параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором проводимо у відповідності до наведеного вище алгоритму.

Визначаю активний опір фази обмотки ротора

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

$$P_{\text{мех}} = 0.03 \cdot P_H = 330 \text{ Вт}$$

$$R_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{11330}{431 \cdot \frac{1 - 0,033}{0,033}} = \frac{1}{1293} \cdot \frac{11330 \cdot 0,033}{0,967} = 0,294 \text{ Ом}$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 45 |

Визначаю активний опір фази обмотки статора

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

$$R_s = \frac{U \cdot 0,84 \cdot (1 - 0,88)}{21} - C^2 \cdot 0,310 - \frac{P_{\text{мех}}}{3 \cdot I_H^2}$$

Розраховую для напруги 380 В, також приймаємо $P_{\text{мех}} = 0,03 \cdot P_H = 330$ Вт,

$$C^2 = 1,08$$

$$R_s = \frac{380 \cdot 0,84 \cdot (1 - 0,88)}{21} - C^2 \cdot 0,290 - \frac{330}{3 \cdot 441} =$$

$$R_s = \frac{380 \cdot 0,84 \cdot (1 - 0,88)}{21} - 0,314 = 1,824 - 0,314 - 0,249 = 1,275 \text{ Ом}$$

Визначаю індуктивність фази обмотки статора:

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

Приймаю значення $S_{\text{кр}} = 0,15$ з механічної характеристики (рис.2.6),

$$S_H = 0,033 \text{ (розраховано в п.2.2.4)}$$

$$L_s = \frac{380}{314 \cdot 21 \sqrt{0,294} - \frac{2}{3} \cdot \frac{314 \cdot 195}{2 \cdot U} \cdot 0,22} = 0,1071 \text{ Гн}$$

Розраховуємо приведену індуктивність розсіювання в обмотці ротора (для моделювання – індуктивність фази обмотки ротора):

$$L_{\text{сп}} = L_{\text{рр}} = \frac{U}{4\pi f_1 (1 + C^2) k_l I_H}$$

$$L_{\text{сп}} = L_{\text{рр}} = \frac{380}{314(1 + 1,08) \cdot 6,5 \cdot 21} = 0,0042 \text{ Гн}$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 46 |

Визначаємо індуктивність в контурі намагнічування.

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

$$L_m = 0,1071 - 0,0042 = 0,1029 \text{ Гн}$$

3.3. Дослідження прямого пуску асинхронного двигуна. 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, показаного на схемі, знаходиться в окремому розділі бібліотеки. 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* із бібліотеки *Power System Blockset/Extras/Electrical Sources*;

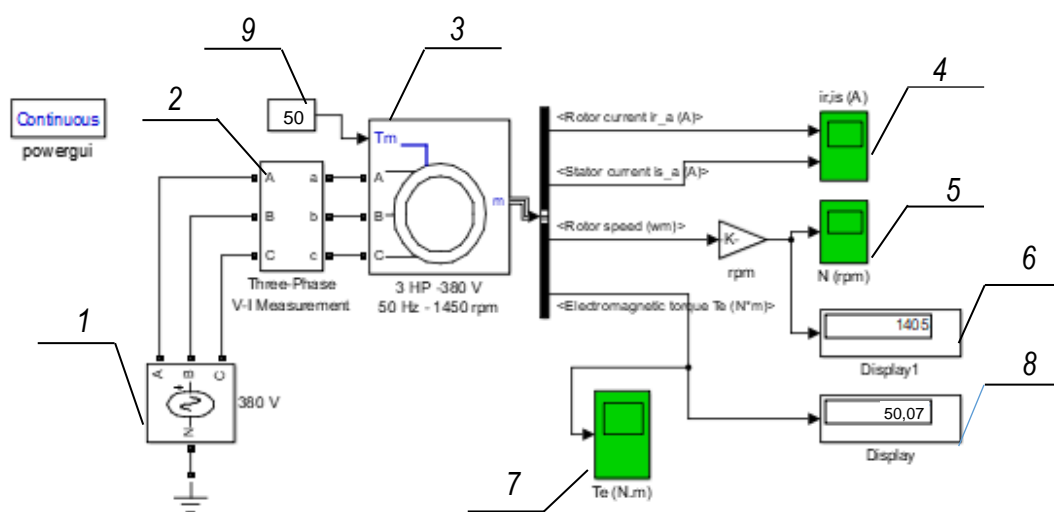


Рис.3.1. Схема моделі для дослідження прямого пуску АД

2 - вимірювач трифазної напруги та струму *Three-Phase V-I Measurement* (бібліотека *Power System Blockset/Extras/Measurement*);

3 – досліджувана трифазна асинхронна машина *Asynchronous Machine* (бібліотека *Power System Blockset/Extras/Machines*);

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 47 |

4 – блок *SCOPE* для спостереження струмів статора і ротора, а також швидкості і моменту асинхронної машини

5 – блок *SCOPE* для спостереження зміни швидкості обертання ротору асинхронної машини (головна бібліотека *Simulink/Sinks*);

6 – блок *Display* для виводу значень швидкості обертання ротору; значення цього параметру зростають в режимі реального часу, і кінцеве значення відповідає кутовій швидкості обертання ротору в усталеному режимі (головна бібліотека *Simulink/Sinks*);

7,8 блоки *SCOPE* та *DISPLAY* для графічного та кількісного представлення зміни електромагнітного моменту у перехідному процесі

9 - блок *МОМЕНТ* для створення механічного моменту навантаження на валу двигуна (головна бібліотека *Simulink/Source*);

На робочому полі *Matlab/Simulink* розташована кнопка «Запуск моделювання».

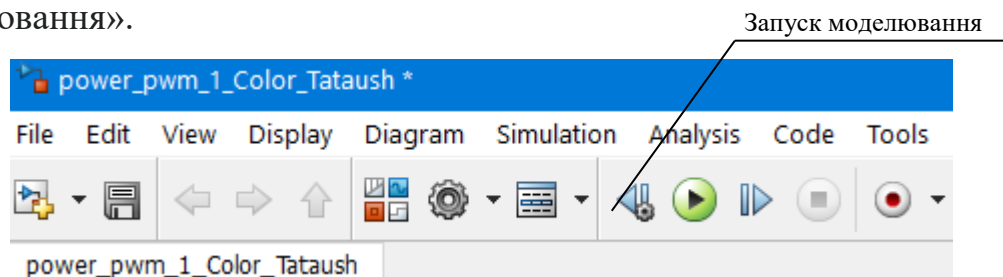


Рис.3.2. Розташування кнопки запуску моделювання на командній стрічці

Якщо модель створена правильно, розпочинається процес імітації роботи електроприводу. Наочно це проявляє собою тим, що безпосередньо у вікнах дисплеїв 6, 8 відбувається швидка зміна показів, поки значення параметрів двигуна не дістануть стаціонарних значень.

Імітатор постійного механічного моменту 9 активується піктограмою, на якій позначено величину заданого механічного моменту на валу двигуна 65 Н·м, це саме висвітлюється на екрані дисплею 8. Час зростання сигналу до свого номінального значення складає декілька секунд. Н

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 48 |

На рис.3.3. Показано зміни струмів статора і ротора при запуску двигуна. По графіку залежності $I_C(t)$ можна зрозуміти, що на горизонтальній осі показаний реальний час.

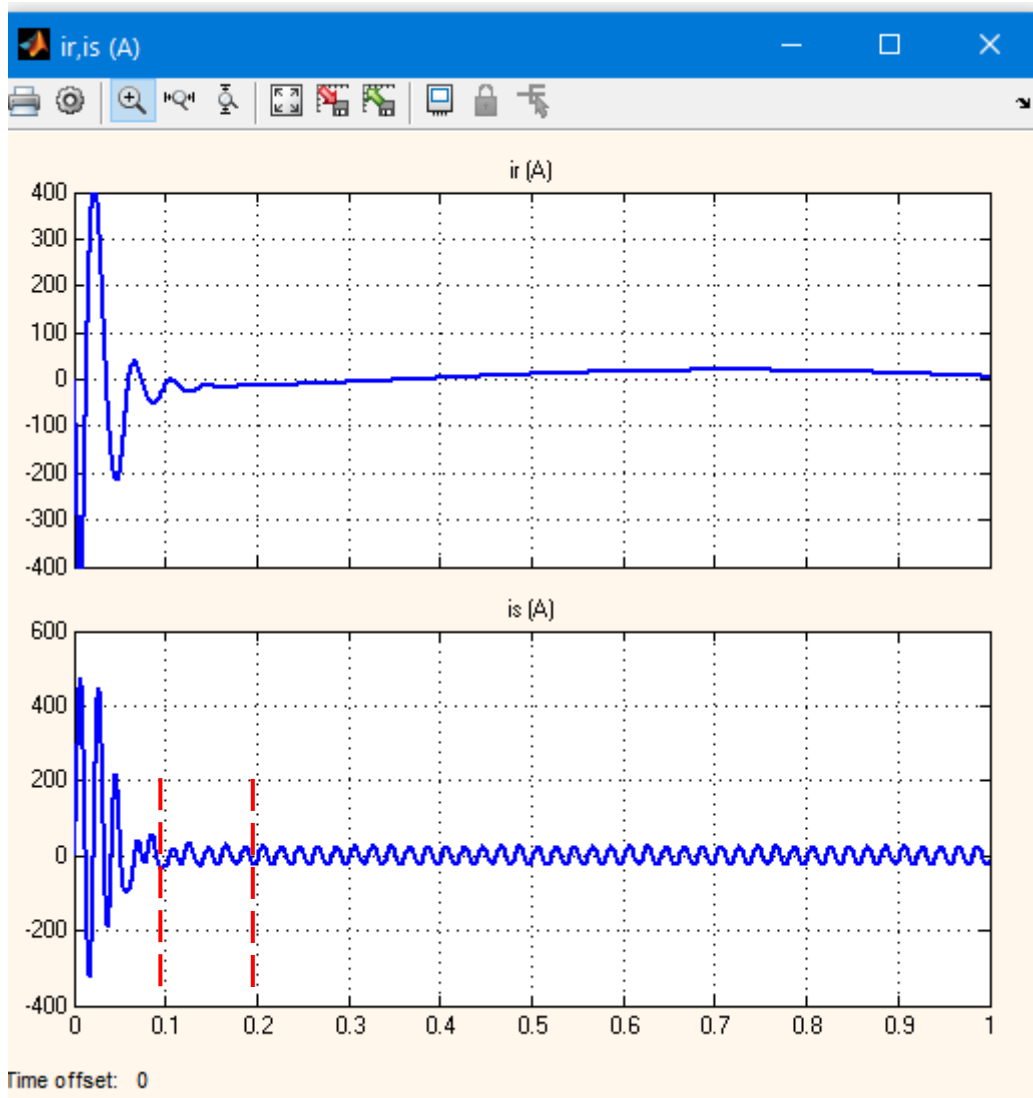


Рис.3.3. Зміна струмів статора і ротора у перехідному процесі при прямому пуску АД

Між вертикальними позначками показано інтервал 0,1 відносна одиниці часу, і у цьому інтервалі вміщується 5 періодів синусоїдного струму. Отже період дорівнює $0.1/5 = 0,02$ відн. одиниці. Це відповідає частоті 50 Гц. Тобто 1 відн. одиниця часу на осі дорівнює 1 с. Характерно, що пікові значення струму з результатів моделювання перевищують номінальний струм не в 6,5 разів, як це зазначено у паспорті, а майже в 20 разів.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 49 |

На екрані осцилографів 5, 7 (рис.3.1) показана залежність механічного обертового моменту $M(t)$ на валу двигуна від часу, яка відображена на рис. 3.4 , а також графік розгону двигуна $n(t)$, показаний на рис.3.5.

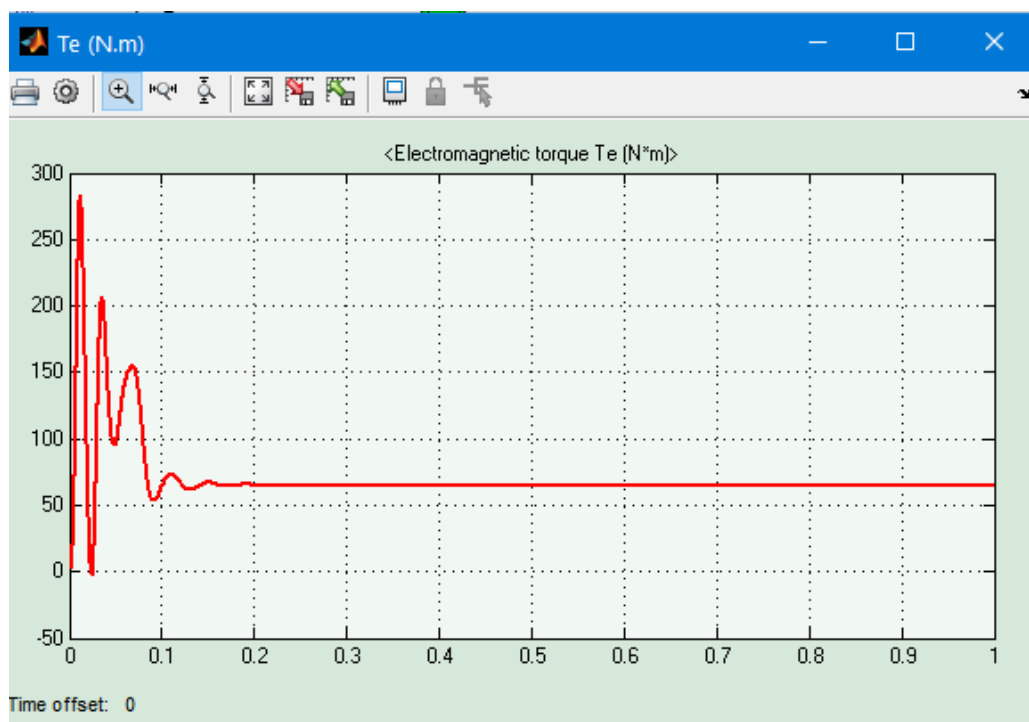


Рис.3.4. Зміна обертового моменту при прямому пуску АД

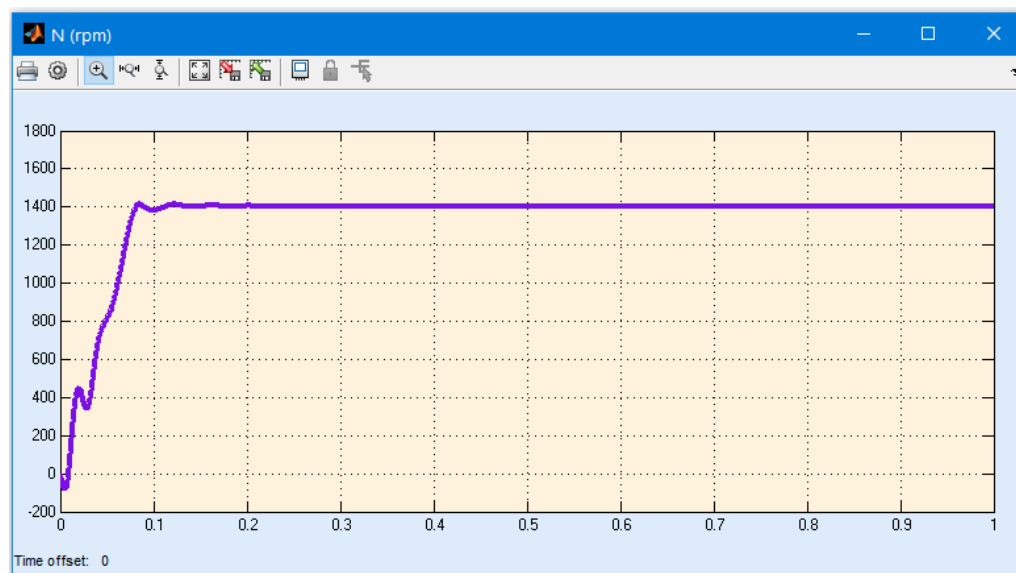


Рис.3.5. Зміна частоти обертання від часу при прямому пуску АД

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

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2

Арк.

50

3.4. Моделювання перехідного процесу при широтно-імпульсній модуляції напруги живлення. Сутність широтно-імпульсної модуляції напруги живлення полягає у тому, що синусоїда напруга замінюється послідовністю П-імпульсів, однакових за величиною, та різних за «шириною». Тобто на графіку $U(t)$ протягом періоду $T_0 = 0,02$ с, що відповідає частоті мережі $f_0 = 50$ Гц, маємо періодичний несинусоїдний сигнал з частотою на 1,5÷2 порядки більшою, тобто імпульси $f_{\text{ШПМ}} = (1000 \div 5000)$ Гц. Але скважність імпульсів змінюється таким чином, щоб протягом кожного півперіоду $T_0/2$ навантаженню передавалась потужність, еквівалентна потужності стандартної мережі.

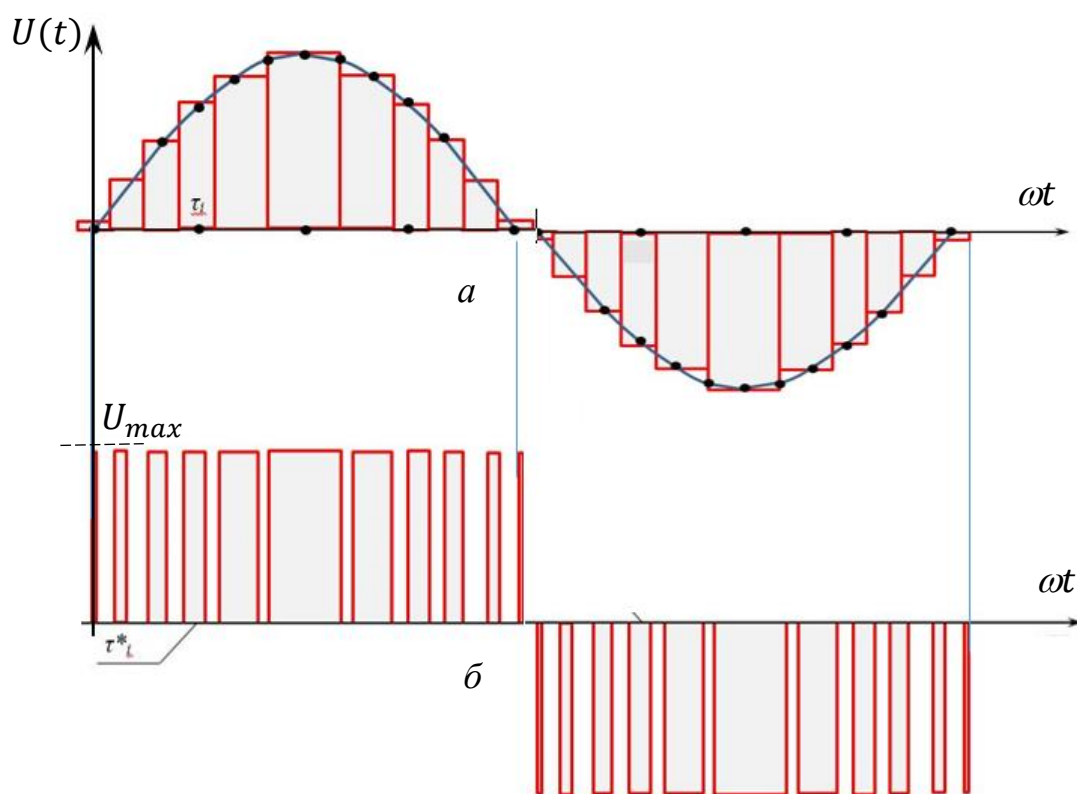


Рис.3.6. До пояснення суті ШПМ –технології

- а – заміна синусоїди напруги ступінчастою функцією, яка забезпечує еквівалентну потужність
- б – заміна ступінчастої функції, послідовністю П-імпульсів однакової «висоти» U_{max} та змінної «ширини» - тривалості τ_i^* , яка забезпечує еквівалентну потужність

Якщо частота модулюючих П- імпульсів мала (тільки на порядок перевищує частоту мережі), функція струму статора виглядатиме на осцилографі як

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 51 |

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

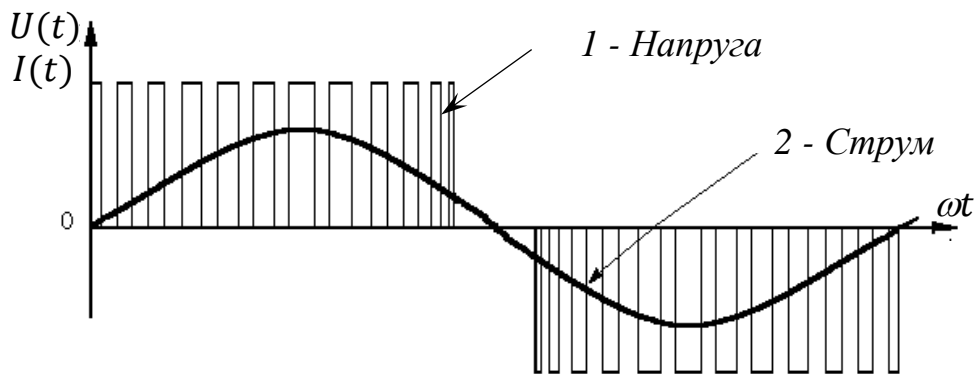


Рис.3.7. Вихідні сигнали перетворювача частоти:
1 – напруга, 2 – струм

В перетворювачах частоти використовується така система управління струмом статора, вона отримала умовну назву із проміжним контуром постійного струму. Структурна схема такого перетворювача приведена на рис. 3.8.

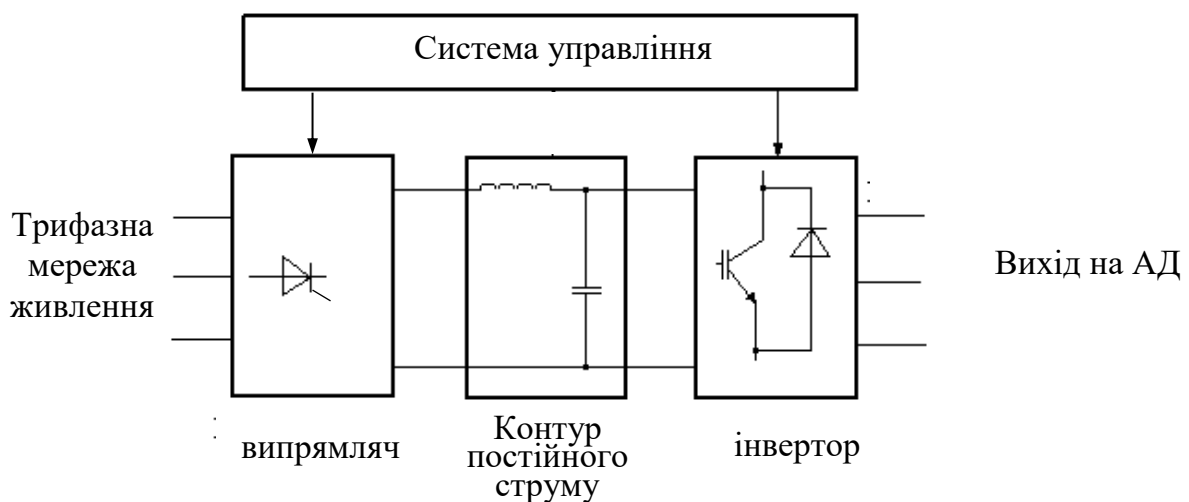


Рис.3.8 - Функціональна схема перетворювача частоти (ПЧ) з проміжним контуром постійного струму.

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

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 52 |

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.

Саме в інверторі реалізований метод високочастотної широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Вихідний сигнал перетворювача – це послідовність імпульсів напруги постійної амплітуди і змінної тривалості (рис.3.6 б). Така імпульсна напруга на індуктивному навантаженні, яким є обмотка статора, формує струми синусоїдальної форми (рис. 3.7). Можливий діапазон регулювання частоти від нуля до декількох тисяч герц.

Для моделювання робочих параметрів асинхронного двигуна, підключеного до мережі через перетворювач частоти з скалярним управлінням, модель, представлена на рис.3.1, доповнена блоком, моделюючим формування послідовності імпульсів напруги (рис.3.9)

Three-Phase Asynchronous Machine

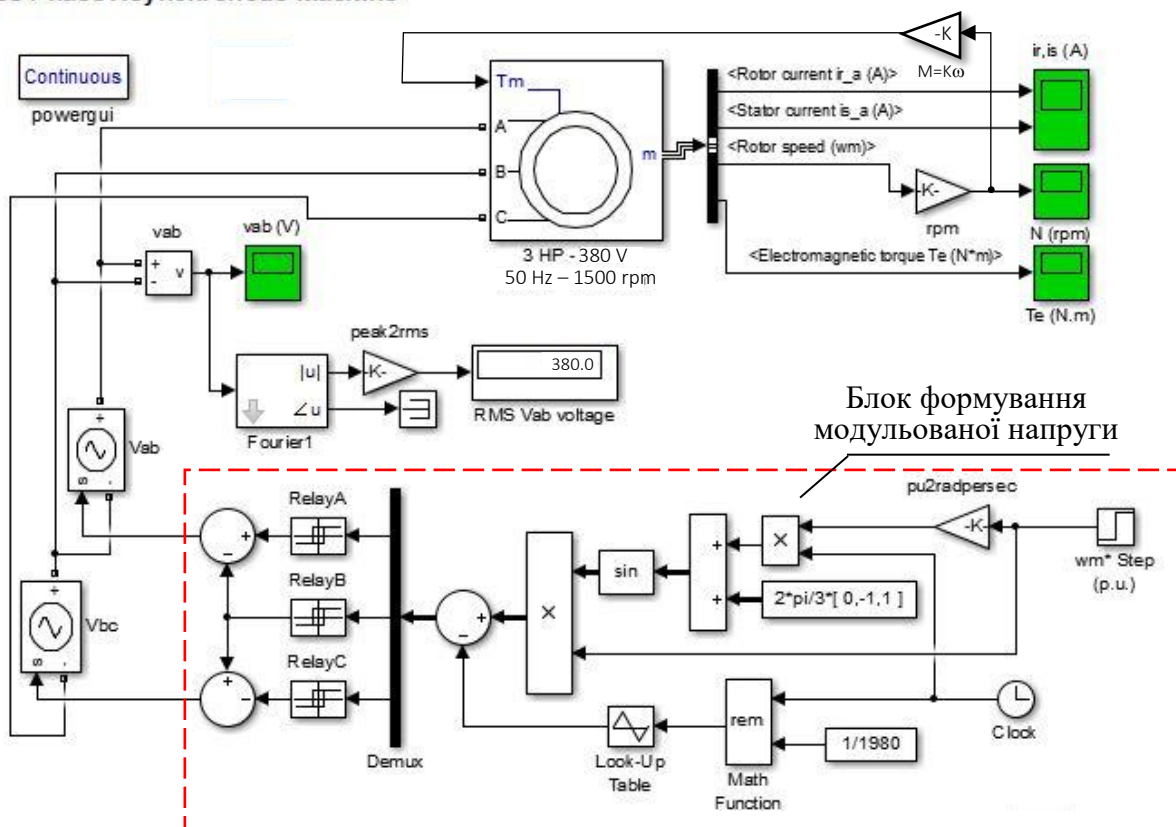


Рис.3.9 Схема моделі для дослідження пуску АД з перетворювачем частоти

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

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2

Арк.

53

На рис.3.10 приведені осцилограми напруги, що подається на обмотки статора при пуску асинхронного двигуна з перетворювачем частоти.

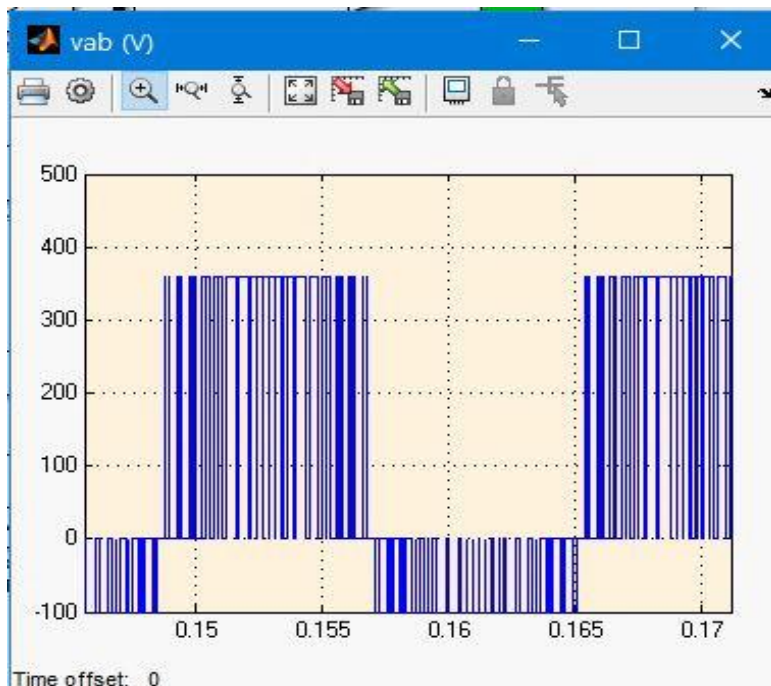


Рис.3.10 ШІМ модульована напруга на обмотках статора АД

На рис.3.11 показана зміна в часі струму обмоток статора при пуску двигуна, підключеного до мережі через перетворювач частоти. Як видно на осцилограмі перехідного процесу відсутній початковий пік струму, який у 6-7 разів перевищує номінальний струм 21 А.

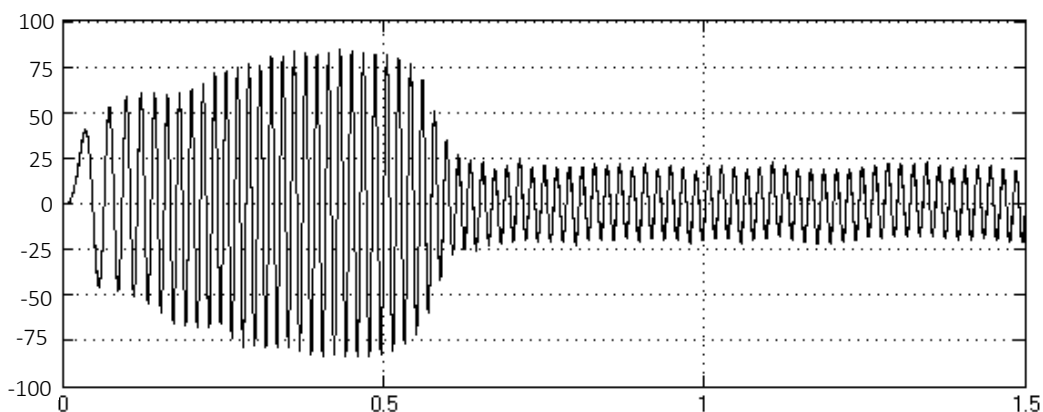


Рис.3.11 Струм обмоток статора при пуску АД

Перехідний процес змінює свій характер, струм виходить на своє номінальне значення безпечно для АД та зовнішньої мережі.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 54 |

4. Організаційна та технологічна частина

4.1. Монтаж електроприводу

Монтаж обладнання передбачає виконання комплексу робіт, визначених технічним проектом виконання робіт, який розробляють відповідно до діючих технічних та санітарних норм. До них відносяться: підготовка виконання монтажних робіт; виконання монтажних робіт; індивідуальні випробовування; здача обладнання під пусконаладжувальні роботи.

4.1.1. Монтаж рециркуляційного вентилятору

В паспорті вентилятора, підготовленого до монтажу, надається креслення (рис.4.1), на якому показані габаритні розміри вентилятора ВЦ 14-46-5. Це дозволяє заздалегідь знайти місце для раціонального розташування вентилятору відносно пекарної печі ПХК 16, а також к відповідності до вимог техніки безпеки при експлуатації та пожежної безпеки.

Габарити вентилятора дозволяють розташувати його у закритому приміщенні. У відповідності до інструкції виробника перед монтажем вентилятора необхідно провести його зовнішній огляд. Пошкодження, отримані в результаті неправильного транспортування зберігання, усунути. При монтажі вентилятора необхідно:

- 1) переконатися в легкому і плавному (без ривків і заїдань) обертанні робочого колеса;
- 2) перевірити зазор між робочим колесом і колектором;
- 3) перевірити затяжку болтових з'єднань, звернувши особливу увагу на кріплення робочого колеса на валу двигуна;
- 4) перевірити опір ізоляції обмоток двигуна; заземлити корпус вентилятора і двигуна;
- 5) короткочасним включенням двигуна перевірити напрямок обертання робочого колеса відповідно до вказівки стрілки на корпусі вентилятора. Якщо напрямок обертання не відповідає зазначеному, необхідно змінити його, перемиканням фаз на клеммах двигуна.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| | | | | | | 55 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Габаритні та приєднувальні розміри радіального вентилятора ВЦ 14-46-5

Креслення схеми виконання 1

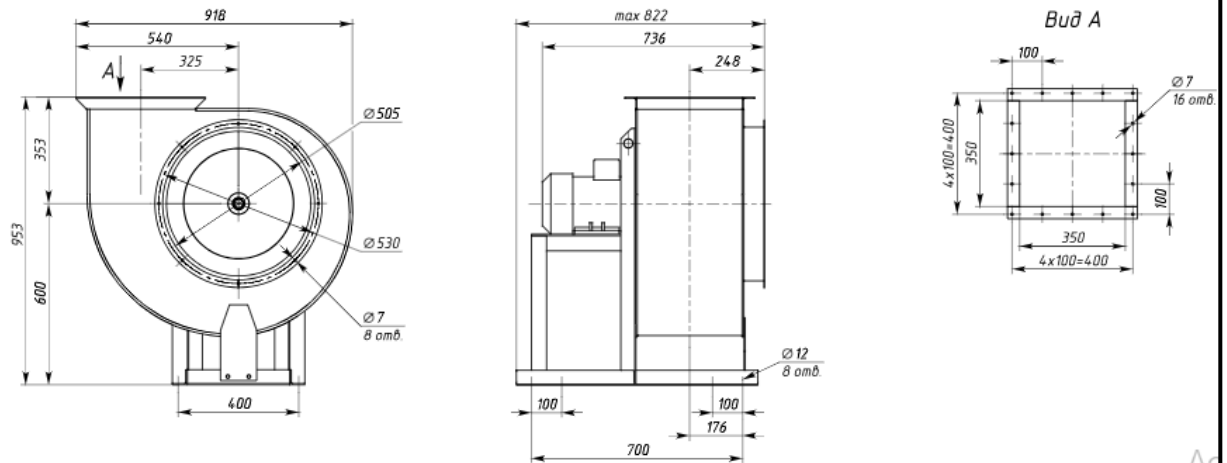


Рис.4.1. Габаритні і приєднувальні розміри вентилятору ВЦ 14-46-5

Перед пуском вентилятора необхідно:

- 1) перевірити відповідність напруги мережі живлення паспортним даним двигуна;
- 2) оглянути вентилятор, повітроводи, монтажний майданчик, переконатися у відсутності всередині вентилятора сторонніх предметів;
- 3) перевірити надійність приєднання струмопровідного кабелю до затискачів клемної панелі двигуна;
- 4) взяти заходів щодо припинення всяких робіт з обслуговування вентилятора (монтажу, регулюванню, очищенню, ремонту і т.п.) і оповістити персонал про запуск;

При наявності сторонніх шумів, а також підвищеної вібрації негайно зупинити вентилятор, з'ясувати причину неполадок і усунути їх.

4.1.2 Монтаж електродвигуна. Монтаж електродвигуна електроприводу вентилятора виконується у певній послідовності:

- А) механічне улаштування на фундаментній плиті
- Б) механічне з'єднання валу електродвигуна та валу вентилятора
- В) підготовка електродвигуна до електричного монтажу
- Г) підключення двигуна до мережі живлення
- Д) електричне з'єднання двигуна з перетворювачем частоти.

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

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2

Арк.

56

Формат А4

Механічне улаштування двигуна на фундаментній плиті розпочинається з установки і вивірки фундаментної плити. На рис.4.2 показані три варіанти монтажного виконання двигуна АІР 132 М4. Для даного проекту адекватним є тільки варіант ІМ 1081-лапа.

Для розташування рециркуляційного вентилятору на висоті 1,5 м від полу, необхідно фундаментну плиту підняти на висоту, при якій вісь валу двигуна буде співпадати з віссю ротору вентилятору. Вивірка фундаментної плити означає виставити її жорстко горизонтально, щоб забезпечити якісне з'єднання вентилятору з валом двигуна (без перекосів і небажаних механічних напруг).

Наступна операція – перевірити правильність установки підшипникових стояків, до яких будуть кріпитися лапи двигуна. Підшипникові стояки виконані з пружного матеріалу і забезпечують амортизацію.



Рис.4.2. Монтажне виконання двигуна АІР 132 М4

Якщо двигун поступає у розібраному вигляді, значно складніше і включає наступні основні технологічні операції: установку і вивірку фундаментної плити і підшипникових стояків; заведення ротора в статор; установку нижніх вкладних підшипників, статора разом з ротором на фундаментну плиту, півмуфт; центрування валів; перевірку зазорів у підшипниках і припасування підшипників; вивірку повітряних зазорів і суміщення магнітних осей статора і ротора; заливання фундаментних плит і фундаментних болтів бетонною сумішшю, перевірку центрування валів після заливання фундаментних плит; остаточне збирання підшипників і перевірку їх ущільнення; під'єднання зовнішніх кабелів, повітроохолоджувачів, маслопроводів і заземлення.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 57 |

Фундаментні плити для електричних машин, які поставляються разом з ними, виготовляють з товстої листової сталі або швелерів і балок крупного перетину. При цьому для електричних машин, які входять до складу перетворювальних агрегатів, у залежності від габаритів останніх, фундаментні плити виготовляють у вигляді одної плити, спільної для всього агрегату, або окремих, для кожної машини, а для приводних двигунів, як правило, тільки у вигляді окремої плити.

Основною причиною появи паразитарних струмів є асиметрія магнітного поля машини, у результаті чого виникає пульсуючий магнітний потік, котрий пересікає короткозамкнене коло (вал - підшипникові стояки - фундаментна плита - вал) і може викликати більш значні струми. Ізолюючі прокладки розривають короткозамкнене коло.

На установлювальних заводських кресленнях дані вказівки по ізоляції болтів, які закріплюють стояки до плити, конічних контрольних штифтів. Для ізолювання болтів застосовують бакелітові трубки з товщиною стінки 2 мм, а конічних штифтів - трубки з пресшпану або електрокартону.

Операція Б – механічне з'єднання електродвигуна та вентилятору потребує центрування валів включає дві основні операції: вивірку осі загального валу (вивірку лінії валів) і усунення бокових і кутових зміщень валів з'єднувальних машин і механізмів. Для цієї операції виробник надає креслення виробу з вказаними геометричними розмірами, зокрема висотою валу 132 мм на рис.4.2.

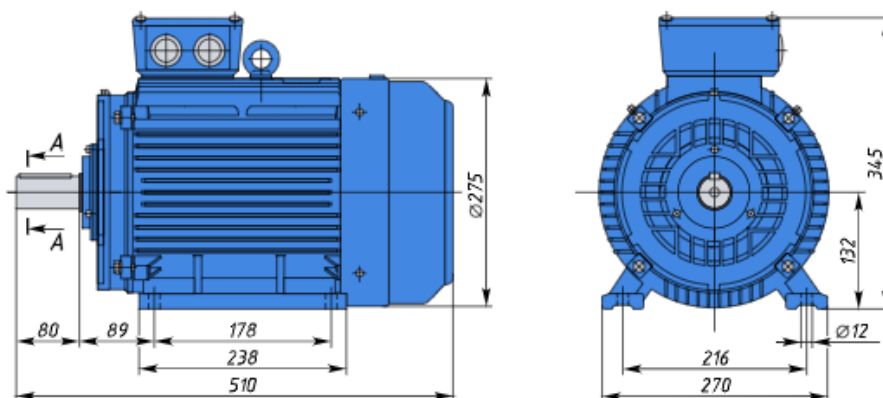


Рис.4.2. Габаритні і установочні розміри електродвигуна АІР132М4

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 58 |

Операція В – підготовка електродвигуна до електричного монтажу. Найважливішим етапом є сушіння ізоляції електричних машин (як правило, проводять до їх установки). Разом з тим не рідкісні випадки, коли вже встановлені електричні машини тривалий час не діють у зв'язку з затримкою пуску об'єкту або технологічного комплексу, у результаті чого їх ізоляція зволожується та не відповідає нормативним вимогам. У таких випадках ізоляцію електричних машин просушують перед їх пуском.

Призначення сушіння - видалення вологи із ізоляції обмоток і інших струмопровідних частин з метою підвищення опору до значень, які дозволяють поставити машини під напругу.

Існують декілька способів створення підвищеної температури, необхідної для сушіння. Для зовнішнього нагрівання машин застосовують чавунні опори або ящики опорів, а також спеціально виготовлені нагрівачі, котрі розташовують під машиною таким чином, щоб виключити можливість місцевих перегрівань від прямого вилучення тепла або надто близького розміщення нагрівача.

Під час сушіння спостерігають за тим, щоб температура гарячого повітря, яке поступає у машину, не перевищувала 90°C , а температура обмоток у найбільш нагрітій частині була не більше ніж 70°C . Температуру заміряють термометрами, встановленими на патрубку повітродувки і в найбільш нагрітій частині обмотки, а в крупних електричних машинах - вбудованими температурними індикаторами (термопарами). Цей спосіб застосовують для сушіння дуже вологих машин.

Для сушіння машин цим способом застосовують ряд схем. Найбільш розповсюдженою є схема сушіння асинхронного двигуна трифазним струмом у режимі КЗ. Для цього ротор загальмовують, а його обмотку замикають на коротко на кільцях спеціальною перемичкою (для уникнення підгоряння кілець). Струм сушіння підтримують не більше $0,7 \cdot I_{\text{НОМ}}$, таким чином, підведена напруга повинна бути не більше $0,7 \cdot U_{\text{КЗ}}$ напруги КЗ. При даному способі застосовують одну з двох різновидів сушіння: втратами в активній сталі статора або втратами у корпусі статора.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 59 |

Нагрівання проводять за рахунок створення змінного магнітного потоку шляхом накладання на статор намагніченої обмотки, що живиться однофазним струмом.

Операції Г) і Д) можуть бути виконані тільки після монтажу щита та перетворювача частоти.

4.1.3. Монтаж щита

Монтаж щита доцільно організувати в окремому технологічному приміщенні, тому що необхідно дотримуватися граничних температур.

Повітря має бути при температурі не нижче $+5^{\circ}\text{C}$, якщо монтажно-експлуатаційними інструкціями на прилади і апарати, встановлені в щитах і пультах, не передбачене інше значення нижньої границі температури. Крім того, в інструкції для використання перетворювача частоти вказана найвища гранична температура 45°C , достатня кількість повітря для охолодження електронних компонентів.

Технологічне приміщення має бути організовано якнайближче до електромеханічного обладнання пекарної камери, щоб довжина кабелів системи управління ПЧ-АД не перевищувала 100 м.

Місце встановлення щитової конструкції повинно задовольняти вимогам експлуатації змонтованих на щитах приладів (стійкість до вібрації, вплив середовища і т. д.).

Проходи для обслуговування монтажної сторони щитів в ряді випадків є евакуаційними. При відсутності з обох сторін проходу відкритих струмопровідних частин на висоті до 2,2 м від підлоги, ширина проходу повинна бути не менше 0,8 м.

Зварка закладених елементів, встановлених на рівні чистого пола, є найпростішим і вібраційно-стійким способом установки щитової конструкції.

Монтаж введів електричних і трубних проводок в щитовій конструкції являє собою комплекс робіт:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 60 |

- підготовка місць вводів;
- прокладання і закріплення електричних кабелів з розділенням кінців,
- прокладання пучків дротів по тій же трасі
- прокладання пневматичних кабелів і труб;
- приєднання кабелю чи дроту до контактних зажимів з прозвонкою і маркуванням.

Трубні і кабельні проводки прокладають до щитових конструкцій в тій же послідовності в якій вони згруповані в приміщеннях.

Прокладають їх по найкоротших відстанях між приладами і засобами автоматизації, що з'єднуються, паралельно стінам, перекриттям, колонам, з мінімальним числом згинів і перетинів, зручно розташовуються від місць з підвищеною температурою технологічного обладнання.

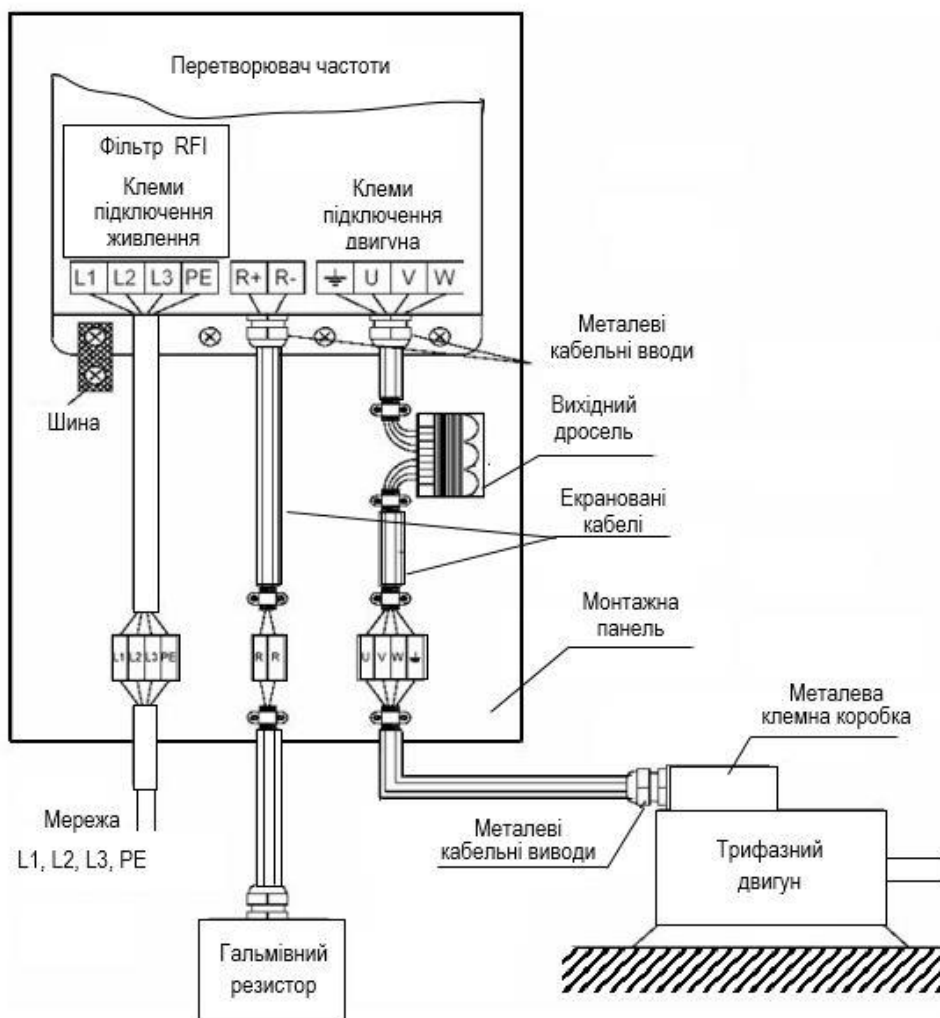


Рис. 4.3 – Схема підключення ПЧ на монтажній панелі

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 61 |

4.1.4.Монтаж перетворювача частоти на монтажній панелі

Обладнання ПЧ призначено для установки у закритому опалювальному приміщенні і відповідає кліматичному виконанню УХЛІ категорії розташування 4.2 по ГОСТ 15150-69 та ГОСТ 15543-70.

Вид охолодження – природно-повітряне.

Схема з'єднань перетворювача частоти з мережею живлення та клем двигуна вентилятору показана на рис.4.3, і відповідає рекомендаціям виробника [16]. Установка ПЧ на монтажній панелі – це найбільш вживаний спосіб установки перетворювача частоти. Відповідно до [16] використання непофарбованої (наприклад гальванізованої) монтажної панелі є оптимальним рішенням з точки зору електромагнітної сумісності та скорочення часу на монтаж.

На даний час виробники розпочали випускати корпуси, у яких замість звичайних пофарбованих монтажних панелей встановлені гальванізовані. Збільшується кількість обладнання для спрощення підключення товстих кабелів у відповідності з вимогами електромагнітної сумісності – роз'єми, хомути для кріплення на DIN-рейках та ін.

4.2. Охорона праці і техніка безпеки при монтажі і обслуговуванні рециркуляційного вентилятору

4.2.1 Організація робочого місця оператора. Для обслуговування електромеханічного обладнання хлібопекарної печі під час її роботи у штатному режимі має бути організовано чергування оператора-електрика, який брав участь у технологічному процесі по монтажу електромеханічного обладнання. Пекарна камера облаштована трьома регульованими електроприводами (конвеєру, системи зволоження тістових заготовок, рециркуляційного вентилятору), а також системами автоматичного аварійного відключення.

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

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2

Арк.

62

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

Робоче місце оператора має бути облаштоване на відстані 3-5 м від працюючого агрегату; не перешкоджати вільному доступу до систем спостереження за номінальними параметрами роботи печі (температура у різних зонах пекарної камери, тиск у системі транспортування теплоносія), систем візуального контролю за автоматичними сигналами про критичні або аварійні режими роботи, систем аварійного відключення агрегату.

Робоче місце облаштовується комплектною апаратурою, яка забезпечує контроль за нормативними параметрами, за станом ліній керування й сигналізації.

Робоче місце оператора має бути облаштоване системою вентиляції, на основі нормативів, передбачених санітарними нормами (температура, вологість повітря), а також робочим столом і кріслом з регульованими нахилом спинки й висотою сидіння. Ергономічні вимоги при виконанні робіт наведено в ГОСТ 12.2.032-78, ГОСТ 12.2.033-78.

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

Загальні вимоги:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| | | | | | | 63 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

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

Для захисту працюючих від небезпеки поразки електричним струмом при переході напруги на металеві неструмоведучі частини (наприклад, при короткому замиканні), що нормально не перебувають під напругою, застосовують захисне заземлення.

Захисне заземлення - навмисне з'єднання неструмоведучих частин електроустаткування, які можуть випадково виявитися під напругою, із заземлюючим пристроєм. Захисне заземлення виконується у вигляді систему металевих заземлювачів, поміщених у землю й електрично з'єднаних спеціальними проводами з металевими частинами електроустаткування, що нормально не перебувають під напругою.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| | | | | | | 64 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Захисне заземлення ефективно захищає людину від небезпеки поразки електричним струмом у мережах напруги до 1000 У з ізольованою нейтраллю й у мережах напругою вище 1000 В - з будь-яким режимом нейтралі.

При технічному обслуговуванні електрообладнання його огляд і контроль за роботою проводять у строки, що передбачені ППТОР. (Система ППТОР полягає у тому, що крім щоденного огляду електроустаткування підлягає плановим профілактичним оглядам, перевіркам, випробуванням та різним видам ремонту)

При встановленні графіку ППТОР враховують умови роботи обладнання і технічний стан електродвигунів, наприклад ступінь їх зношеності.

При огляді під час обходів електроприводів перевіряють температуру нагрівання двигунів; слідкують за утримуванням їх у чистоті. Поблизу них не повинно бути сторонніх предметів, особливо небезпечних у пожежному відношенні. Спостерігають, щоб пуск і зупинка електродвигунів проводилися виробничим персоналом за інструкцією та електродвигуни не працювали порожньо. Контролюють напругу електромережі, яка повинна бути в межах 95...110% від номінальної. Перевіряють у підшипниках, реостатах та пусковій апаратурі рівень масла. Звертають увагу на справність огорожень, які заважають випадковим доторканням до обертаючих частин електропривода; усувають мілкі несправності (наприклад, замінюють перегорілі запобіжники, регулюють натискання щіток) і проводять зовнішнє очищення електродвигунів. Контроль за температурою електродвигуна є суттєвим елементом його експлуатації, так як найбільш часті пошкодження електродвигуна зв'язані з нагріванням вище гранично допустимої температури.

Розрізняють гранично допустиму температуру нагрівання і гранично допустиме перевищення температури нагрівання окремих частин електричної машини.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| | | | | | | 65 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

При експлуатації від'єднувати машину від мережі та виміряти опір обмоток для визначення температури їх нагрівання не завжди можливо. Тому контроль нагрівання проводять, вимірюючи температуру доступних частин - корпусу електродвигуна, кришок підшипників.

Погіршення ізоляції обмоток при експлуатації електродвигуна з часом може привести до КЗ між обмотками, а також до замиканням обмоток на корпус електродвигунів. Для запобігання вказаних явищ і зв'язаного с ними виходу електродвигунів із ладу опір ізоляції обмоток періодично вимірюють мегомметрами. Строки таких перевірок залежать від місцевих умов (вологості навколишнього середовища, запиленості приміщення), технічного стану електродвигуна і встановлюються графіком.

Крім періодичних проводять і позачергові перевірки, які улаштовують після довготривалих перерв у роботі електродвигунів, після попадання на них води і в тих випадках, коли виникає небезпека у погіршенні стану ізоляції обмоток. При оцінюванні стану ізоляції обмоток електродвигуна доцільно порівняти дані отриманих вимірювань із попередніми.

Інструкція з охорони праці розроблена відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці» і встановлює правила виконання робіт і поведінки електрика на території підприємства, у виробничих приміщеннях і на робочому місці відповідно до державних, міжгалузевих і галузевих нормативних актів про охорону праці [15, 17]. Дія інструкції поширюється на всі підрозділи підприємства.

Відповідно до статті 18 Закону України «Про охорону праці» працівник зобов'язаний знати і виконувати вимоги нормативних актів про охорону праці, правила поводження з машинами, механізмами, устаткуванням і іншими засобами виробництва, користуватися засобами колективного і індивідуального захисту, проходить в установленому порядку попередні і періодичні медичні огляди.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| | | | | | | 66 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

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

Повторна перевірка знань монтажниками безпеки праці проводиться щорік. Особи, що експлуатують ручні електричні машини класів II і III, повинні мати I групу по електробезпеці.

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;

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.

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

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2

Арк.

67

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок капітальних вкладень

У даній роботі представлена розроблена система керування електроприводу вентилятора хлібопекарської печі ПХК16, що є складовою проекту реконструкції хлібопекарського виробництва. Розраховуємо капітальні витрати на електроустаткування електроприводу асинхронного двигуна з перетворювачем частоти вентилятора пічної камери.

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 | 22800 | |
| Вентилятор | 16763 | 16763 |
| Двигун | 4600 | 4600 |
| Перетворювач частоти | | 39000 |
| Кабелі | 1000 | 1000 |
| апарати захисту | 2500 | 2500 |
| сенсори та ін | 1400 | 1400 |
| Всього: | 49063 | 65263 |
| Витрати на транспортування (7 %) | 3434 | 5443 |
| Монтаж та налагодження (10%) | 4906 | 7776 |
| Всього капітальних вкладень К | 57403 | 78482 |

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.

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

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2

Арк.

68

Нижче надається перелік позицій, що входять до експлуатаційних витрат E

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

Експлуатаційні витрати визначаємо додаванням усіх параметрів

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

Далі розраховуємо окремо кожен складову, що входить до виразу (5.1).

5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

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

| | | |
|--------------|--|--|
| Базовий вар. | $E_{АБ} = 57403 \cdot 10 / 100 = 5740$ (грн) | |
| Новий вар. | $E_{АН} = 78482 \cdot 10 / 100 = 7848$ (грн) | |

5.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

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

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховуємо за наступною формулою:

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

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

$E_{ЗД}$ - додаткова заробітна плата

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

КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2

Арк.

69

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 ($K_B = 1.36$, $K_H = 1.54$);

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

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

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

З формули (5.3) розрахуємо E_{30}

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

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

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

$$E_{3д_B} = 41995 \cdot 10 / 100 = 4199 \text{ (грн)}.$$

$$E_{3д_H} = 23754 \cdot 10 / 100 = 2375 \text{ (грн)}.$$

Разом основна і додаткова заробітна плата визначається додаванням

| | | |
|--------------|---|--|
| Базовий вар. | $E_{3_B} = (41995 + 4199) \text{ грн} = 46194 \text{ грн}$ | |
| Новий вар. | $E_{3_H} = (23754 + 2375) \text{ грн} = 26129 \text{ грн}$ | |

5.2.3. Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію знаходимо за формулою:

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

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

P – установлена потужність (11 кВт);

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 70 |

η – ККД установки;

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

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

K_3 – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю).

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

Коефіцієнт ввімкнення приймаємо рівним 0.8.

Ефективний фонд робочого часу для двох варіантів становить:

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

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

$$E_{\text{Е}_B} = \frac{10}{0,87} \cdot 7 \cdot 2774 \cdot 0,8 \cdot 0,78 = 154735 \text{ (грн/рік)} \quad (5.4 \text{ а})$$

$$E_{\text{Е}_H} = \frac{10}{0,95} \cdot 7 \cdot 2774 \cdot 0,8 \cdot 0,78 = 141716 \text{ (грн/рік)} \quad (5.4 \text{ б})$$

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

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

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

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

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

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 71 |

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 | | 32 |
| Двигун | | | пп | | | пп | | | пп | | | пп | 52 |
| Кабельна мережа | | пп | | | | пп | | | | пп | | | 18 |
| Апарати захисту | | | | пп | | | | пп | | | | пп | 12 |
| сенсори | | | пп | | | | пп | | | | пп | | 10 |
| Загальна трудомісткість по базовому варіанту Φ_B | | | | | | | | | | | | | 124 |

Таблиця 5.3– Графік ремонтів для нового варіанту

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

Ремонтні роботи 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.

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|--|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | | | 72 |

| | | |
|--------------|---|--|
| Базовий вар. | $E_{з\ Б} = 42 \cdot 1.36 \cdot 124 = 7083$ | |
| Новий вар. | $E_{з\ Н} = 42 \cdot 1.54 \cdot 88 = 5692$ | |

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

| | | |
|--------------|-------------------------------------|--|
| Базовий вар. | $E_{M\ Б} = 7083 \cdot 0,15 = 1062$ | |
| Новий вар. | $E_{M\ Н} = 5692 \cdot 0,15 = 854$ | |

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

| | | |
|--------------|----------------------------------|--|
| Базовий вар. | $E_{ПР\ Б} = 7083 + 1062 = 8145$ | |
| Новий вар. | $E_{ПР\ Н} = 5692 + 854 = 6546$ | |

Таблиця 5.4– Зведення експлуатаційних витрат

| Найменування витрат | Кошторисна вартість, грн. (у цінах 2024) | |
|--|---|---------------|
| | Базовий вар. | Новий вар. |
| Амортизаційні відрахування | 5740 | 7848 |
| Заробітна плата | 46194 | 26129 |
| Витрати на силову електроенергію | 154735 | 141716 |
| Витрати на поточний ремонт | 8145 | 6546 |
| Всього: | 214814 | 182239 |
| Інші витрати (5 %) | 10740 | 9112 |
| Всього експлуатаційних витрат E | 225555 | 191351 |

Для оцінки економічної ефективності модернізованого електроприводу визначаємо показник відносної економії витрат

$$\delta_E = \frac{E_B - E_H}{E_B} \cdot 100\% = \frac{225555 - 191351}{225555} \cdot 100\% = 15,3\%$$

Висновок. Впровадження системи керування електроприводом вентилятора ПЧ-АД є економічно виправданим, економія річних експлуатаційних витрат на рівні 15,3%.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 73 |

5.7. Визначення економічної ефективності проекту

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

Розраховуємо термін окупності

$$T_0 = \frac{K_H}{E_B - E_H} = \frac{78482}{225555 - 191351} = \frac{78482}{34204} = 2,29 \text{ р.}$$

Розраховуємо коефіцієнт економічної ефективності $k_{E_{\text{еф}}}$

$$k_{E_{\text{еф}}} = 1/T_0 = 1/2,29 = 0,437,$$

як видно коефіцієнт економічної ефективності $k_{E_{\text{еф}}}$ більше ніж в 2 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 | $EE = 0,2 \cdot 21079 + 34204 = 38318$ |
| $k_{E_{\text{еф}}} = 0,437$ проект | $EE = 0,437 \cdot 21079 + 34204 = 43415$ грн |

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

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

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 74 |

Висновки

1. У даний час для випікання хліба найбільш прогресивними вважаються печі тунельного типу, у яких передбачена нагрівальна система пекарної камери з рекуперацією тепла. У таких печах вузловим елементом, що забезпечує ефективний потік теплоносія у зонах пекарної камери, є рециркуляційний вентилятор.
2. У розрахунково-конструкторській частині дипломного проекту сформульовані вимоги до електропривода рециркуляційного вентилятору. Побудована кінематична схема електропривода рециркуляційного вентилятору визначена потужність приводу вибраний трифазний асинхронний двигун із короткозамкненим ротором типу АИР132М4 потужністю 11,0 кВт з частотою обертання 1460 об/хв, лінійним струмом у номінальному режимі 21 А.
3. Виходячи з номінальних параметрів двигуна та умов його роботи розраховані та вибрані перетин кабелю живлення, а також апарати захисту.
4. Розглянуті існуючі системи керування електроприводом, обґрунтовано вибір системи керування електропривода рециркуляційного вентилятору із застосуванням перетворювача частоти.
5. Визначені вимоги до перетворювача частоти: надійне і безпечне керування приводом вентилятору, відповідність його номінальних параметрів до параметрів використаного електродвигуна, наявність достатніх резервів для використання при подальшому удосконаленні електроприводу рециркуляційного вентилятору, зокрема для автоматичного керування режимами роботи пекарної камери, для підвищення надійності спрацювання захисного обладнання.
6. Проведено комп'ютерне моделювання прямого пуску АД, а також дослідження параметрів електроприводу з використанням широтно-імпульсної модуляції напруги живлення.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 75 |

При прямому пуску АД спостерігається великий імпульс пускового моменту, і одночасно спостерігається найвищий імпульс пускового струму, висота піку якого значно перевищує відношення $I_{п}/I_{ном} = 6,5$, заявлене в паспорті електродвигуна. Після розгону АД струм обмоток статора і обертаючий момент на валу двигуна значно знижуються.

При використанні широтно-імпульсної модуляції напруги живлення відсутні імпульси пускового струму; при подачі модульованої напруги час виходу всіх параметрів на номінальні значення зростає. На досліджуваній моделі пусковий струм не більше ніж у 2,5 рази перевищує номінальний лінійний струм, і поступово знижується до струму номінального режиму роботи. Такі результати моделювання враховані при виборі перетворювача частоти.

7. Проведений порівняльний аналіз економічних параметрів базового та запроєктованого електроприводів показав, що впровадження системи керування електроприводом вентилятора ПЧ-АД є економічно виправданим:

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

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.EMmaM.1.797-03.3.2 | Арк. |
| | | | | | | 76 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Перелік використаних джерел

1. Основні напрями розвитку паливно-енергетичного комплексу України на період до 2030 року.
Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v01_1558-05#Text
2. Гвоздєв О.В. Машины та обладнання хлібопекарського виробництва: Підручник. _Мелітополь, 2010,- 317с.
3. Самойчук К.О., Паляничка Н.О., Лівик Н.О. Технологічне обладнання хлібопекарного виробництва. ТДАТУ, 2021 р.
Режим доступу: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_32/index.html
4. Тунельні каркасно-металічні печі з циклотермічним обігріванням
<https://studfile.net/preview/5193779/page:10/>
5. Укрвентсистеми. Каталог продукції від виробника. Параметри вентилятору ВЦ 9-57-5
Режим доступу https://ukrvent.com/vc_9-57-5-html/
6. Параметри вентилятору ВЦ 14-46 №5.
Режим доступу: <https://ventilator.ua/product/vc-14-46-5-air-132-m4/>
7. Системи якості. Каталог електродвигунів вітчизняного виробника, м.Харків.
Режим доступу: https://xn--80aqy.com.ua/katalog_elektrovdigateli_air/air-132m4-11-kvt-1500-ob-min/
8. Технічні характеристики АИР132М4. Завод «Полтава Електромотор». Режим доступу: <https://www.elmotor.com.ua/elektrovdigateli/trehfaznye-elektrovdigateli/air132m4/>
9. Т.В. Величко, Д.І. Родькин Теорія електроприводу, частина 1. Механіка, характеристики двигунів в електроприводі / Навчальний посібник . Кременчуг, КГПІ, 1999, -257 с.
10. Допустимі довготривалі струми для проводів, шнурів, кабелів з гумовою або пластмасовою ізоляцією. Витяг з нормативних актів України
Режим доступу: http://norma.org.ua/document/legislation/PUE7/1_3_2.php#google_vignette
11. С.С. Мазепа, Я.Ю. Марущак, А.С. Куцик. Електрообладнання промислових підприємств. Львів: “Магнолія плюс”, 2006.-260 с.
Режим доступу: http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/elektroblad.pdf

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 77 |

12. Ладанюк А.П., Трегуб В.Т. і ін. Автоматизація технологічних процесів та виробництв харчової промисловості. – К.: Аграрна освіта, 2001 – 223с.
13. Електричні машини. Асинхронний двигун : метод. вказівки до виконання курсової роботи: бакалаврів спец. 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / Є. П. Штепа, О. Ю. Розіна ; Каф. електромеханіки та мехатроніки. — Одеса : ОНТУ, 2024. — 38 с.
Режим доступу: <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ.2254930>
14. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Поточна редакція. — Редакція від 21.02.2017.
Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#Text>
- 15 Лазарев Ю. MatLab 5.x Київ: Ірина; СПб: ВHV, 2000. 381 с
Режим доступу: https://pbf.kpi.ua/old/arch/publish/pg/Lazarev_MatLab_5x.pdf
- 16 ACS310-03e-34a manual
Режим доступу:
https://library.e.abb.com/public/9a01fbf606bc4eb9bbb3755e97df889f/RU_ACS310_SFUM_D_screen.pdf
- 17 Закон України «Про охорону праці» Редакція від 01.10.2023.
Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | <i>КРБ.ЕМтаМ.1.797-03.3.2</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 78 |