

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
(назва інституту, факультету)

кафедра електричної інженерії суднових та роботизованих
комплексів
(назва кафедри)

Допущений до захисту

зав. кафедри

ЕІС та РК

(скорочена назва кафедри)


(підпис)

Костенко Д.В.

(прізвище та ініціали)

" 16 " 12 2025 р.

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти

магістр

(рівень вищої освіти)

на тему

Дослідження нагріву асинхронних двигунів при
частотному управлінні

Виконав: студент групи 6361м

Спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

спеціалізації «Електричні системи і комплекси транспортних
засобів»

Студент

Кристенюк В.Ю.

(прізвище та ініціали)


(підпис)

Керівник

к.т.н., доцент Костенко Д.В.

(прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент

к.т.н., доцент Бабкін Г.В.

(прізвище та ініціали)


(підпис)

м. Миколаїв – 2025 р.

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів
Рівень вищої освіти магістр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма «Електричні системи і комплекси транспортних засобів»
(шифр і назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

 Костенко Д.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

" 01 " 10 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
на здобуття ступеня вищої освіти магістр

Кристенюк Вадим Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема кваліфікаційної роботи Дослідження нагріву асинхронних двигунів при частотному управлінні

Керівник кваліфікаційної роботи Костенко Дмитро Валерійович,
канд. техн. наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» ____ 2025 року №__

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи _____

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи провести дослідження теплових процесів в асинхронних двигунах

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) скласти математичні моделі асинхронного двигуна, перетворювача частоти, теплових процесів; провести дослідження математичних моделей.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Електронна презентація

6. Дата видачі завдання на кваліфікаційну роботу «___» вересня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Видача завдання на КР		
2	Рубіжний контроль. Чернові варіанти розділів та розширеного змісту ПЗ		
3	Рубіжний контроль. Готовий розширений зміст ПЗ, спецрозділів, 1-3 розділи ПЗ. Розрахунки.		
4	Рубіжний контроль. Чернетка повної пояснювальної записки, презентації та доповіді.		
5	Кафедральний захист. Готова, зшита ПЗ, підписана студентом, керівником. Готова презентація та доповідь укр. мовою.		
6	Подання документів на захист.		
7	Захист ДП		

Студент


(підпис)

Кристенюк В.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник
кваліфікаційної роботи


(підпис)

Костенко Д.В.
(прізвище та ініціали)

АННОТАЦІЯ

Магістерська робота складається із вступу, шести розділів та висновків, які викладені на 92 сторінках машинописного тексту, містить 42 рисунків, 6 таблиць та перелік літератури з 16 найменувань.

Метою роботи є дослідження теплових процесів в асинхронних двигунах при частотному управлінні з перетворювачами частоти.

В першому розділі був зроблений аналітичний огляд методів вимірювання температури і моделювання теплових процесів. В другому розділі розроблена математична модель електромеханічних процесів системи ПЧ-АД, а в третьому розділі – модель теплових процесів. В четвертому розділі виконані дослідження. В п'ятому і шостому розділах розглянуті питанням охорони праці і охорони навколишнього середовища.

Ключові слова: асинхронний двигун, перетворювач частоти, нагрівання, температура.

ABSTRACT

The master's thesis consists of an introduction, six chapters and conclusions, which are set out on 92 pages of typewritten text, contains 42 figures, 6 tables and a list of literature with 16 titles.

The purpose of the work is to study thermal processes in asynchronous motors with frequency control with frequency converters.

In the first section, an analytical review of methods for measuring temperature and modeling thermal processes was made. In the second section, a mathematical model of electromechanical processes of the FC-AD system was developed, and in the third section - a model of thermal processes. In the fourth section, research was carried out. In the fifth and sixth sections, the issues of labor protection and environmental protection are considered.

Keywords: asynchronous motor, frequency converter, heating, temperature.

Перелік умовних позначень

АД – асинхронний двигун;

ПЧ – перетворювач частоти;

ПЧ-АД – система перетворювач частоти – асинхронний двигун.

Зміст

1 Аналітичний огляд способів визначення температури в асинхронному двигуні	9
1.1 Контактні методи.	9
1.2 Безконтактні методи.....	15
1.3 Непрямі методи.....	17
1.4 Використання математичних моделей для визначення теплового стану двигуна.....	22
2 ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПЧ-АД	26
2.1 Розрахунок параметрів схеми заміщення за паспортними параметрами двигуна.....	26
2.2 Побудова механічних характеристик за частотними законами....	29
2.3 Розробка математичної моделі ПЧ.....	31
2.4 Розробка математичної моделі АД.....	33
2.5 Дослідження математичної моделі ПЧ-АД	34
3 Побудова математичної моделі визначення температури АД	40
3.1 Визначення джерел тепла	40
3.2 Визначення зовнішніх факторів, що впливають на теплові процеси в АД.....	42
3.3 Створення математичної моделі визначення інтегральної температури АД.....	44
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ В АД ПРИ ЖИВЛЕННІ ВІД ПЧ	49
4.1 Вплив зміни частоти на теплові процеси	49
4.2 Вплив зміни частотного елемента на теплові процеси	53
5 Охорона праці	60
Вступ.....	60

5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на людину при розробці системи керування	63
5.2 Природне освітлення.....	65
5.3 Штучне освітлення.....	66
5.4 Розрахунок штучного освітлення	68
5.5 Заходи щодо техніки безпеки	74
Висновок.....	77
6 Охорона навколишнього середовища	78
Вступ.....	78
6.1 Забруднення нафтоутримуючими водами	80
6.2 Методи очищення нафтоутримуючих вод	81
6.3 Забруднення стічними водами.....	83
6.4 Забруднення сміттям	84
6.5 Установка ЕОС-5.....	85
ВИСНОВКИ	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	93

ВСТУП

Вимірювання температури обмоток двигуна, статора, корпусу і т.д., є одним з необхідних діагностичних факторів визначення стану двигуна, його надійності і терміну служби. Достовірна інформація про поточний тепловий стан електродвигуна дозволяє забезпечити насамперед захист електродвигуна від можливих аварійних режимів, пов'язаних з температурними змінами. На стадії розробки нового електродвигуна або під час модернізації (зміни) окремих вузлів потрібна інформація про те, як ці роботи вплинуть на температурний стан його обмоток.

При виборі асинхронного електродвигуна і перевірці його по нагріванню оперують такими поняттями, як допустиме число включень за годину, допустима температура нагріву обмоток, механічна міцність і довговічність виткової ізоляції. Як відомо, при постійному перевищенні температури основних струмопровідних частин машини (провідники в пазу, лобові частини) на 5-10 градусів зменшує ізоляцію, що веде до зменшення терміну служби двигуна майже вдвічі.

Перелічені параметри можуть суттєво змінюватись в залежності від режиму роботи електродвигуна та конструкції електричної машини. Нагрів обмоток залежить від величини навантаження, рівня втрат у перехідних режимах, теплових характеристик матеріалів частин електричної машини, способу та якості охолодження

У процесі експлуатації, при роботі двигуна в повторному та повторно-короткочасних режимах, можливе перевищення можливе перевищення номінального навантаження, що призводить до додаткового нагрівання частин двигуна. Тому для таких режимів доцільним є застосування постійного моніторингу температури обмоток двигуна, сталі. Це особливо актуально для двигунів та генераторів великої потужності. Так як можливі витрати на ремонт або заміну машин набагато більше, ніж система моніторингу.

Постійний моніторинг температури цих елементів викликає певні труднощі. Існує кілька методів вимірювання стану температури частин двигуна і якості тепловідведення.

Контактні методи - безпосередній вимір температури в складових частинах машини, здійснюється за допомогою різних термодатчиків, термометрів - вимірювання відбувається під час роботи машини або пробні вимірювання за часом певних (доступних) частин машини [13]

Безконтактні – засновані на дистанційному вимірі температури, в основному за допомогою пірометрів, ці методи дають повну картину відведення тепла від корпусу двигуна та його основних частин, можливі локальні перегріву, що свідчать про несправності [13].

Непрямі методи – в основному засновані на виміряних значення струму та напруги двигуна, їх формі та тривалості дії перевантажень. На цих методах зараз працюють практично всі захисту двигунів, що працюють на відключення або попередження про перегрівання [1].

Методи засновані на дослідженні теплової математичної моделі двигуна - для адекватності діагностики при використанні цих методів є якомога точніший опис всіх теплових параметрів двигуна, складання повних схем заміщення, визначення факторів мережі живлення і т. д. [3, 4, 7, 12]

Нижче розглянуті ці методи їх гідності та недоліки, а також застосування в техніку, промисловість, випробування.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СПОСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В АСИНХРОННОМУ ДВИГУНІ

1.1 Контактні методи.

Використання контактних методів визначення температури мають деякі обмеження [13]:

Використання малоінерційного температурного датчика, інерційність датчика значно нижча за інерційність вимірюваного об'єкта.

Розгалужена мережа датчиків для отримання більш повної картини розподілу тепла, наприклад, надзвичайно серйозне місцеве пошкодження активної сталі статора, що межує з пожежею в сталі, практично не може бути обладнане датчиком, що знаходиться на кілька зубців від зони пошкодження, тут необхідно використання безконтактних методів (пірометрів, тепловізорів), радіопірометрів, датчиків протоки та вимірювання температури повітря тощо) для отримання більш широкої картини.

Методом термометра

Визначають температуру поверхні в точці застосування (поверхня корпусу, підшипників, лобових частин обмотки (для двигунів відкритого виконання IP23)), температуру навколишнього середовища та повітря, що надходить і виходить з двигуна для визначення процесів циркуляції та тепловідведення. Застосовують як ртутні, і спиртові термометри. Поблизу сильних змінних магнітних полів слід застосовувати тільки спиртові термометри, тому що в ртуті наводяться вихрові струми, що спотворюють результати виміру. Для кращої передачі теплоти від вузла до термометра останнього резервуар обгортають фольгою, а потім притискають до нагрітого вузла. Для теплоізоляції термометра поверх фольги накладають шар вати або повсті таким чином, щоб останній не потрапив у простір між термометром та нагрітою частиною двигуна. Вимірювання можуть здійснюватись цифровими приладами вимірювання температури або вимірювальними мостами.

Недоліком такого методу є:

можливість вимірювання температури тільки доступних частин у процесі роботи (для двигунів закритого виконання практично тільки вимірювання температури частин корпусу);

тривалість виміру;

неточність;

мала інформативність;

відсутність моніторингу внутрішніх частин машини;

разовість вимірів, що призводить до розкиду у показаннях.

До переваг можна віднести:

простота виміру;

можливість діагностики теплового стану корпусу та навколишнього середовища.

Ефективний при контролі машин відкритого виконання для спостереження стану певних вузлів з керованим обдуванням. Зокрема в машинах постійного струму для контролю температури щітково-колекторного вузла, для всіх машин контроль температури підшипникових вузлів та лобових частин.

Метод термопар та метод термометрів опору

Дія термометрів опору ґрунтується на властивості металів та сплавів змінювати опір зі зміною температури. Зазвичай для неточних електротехнічних розрахунків ця залежність приймається лінійною. Температурний коефіцієнт електричного опору більшості чистих металів при кімнатній температурі приблизно дорівнює 0,4%, тобто за величиною відповідає температурному коефіцієнту розширення газу в газовому термометрі. При точних вимірах (до 0,01 град) схема виміру має бути чутливою до вимірів опору в 0,004%. При високій точності вимірювань можна відчувати більш ніж один порядок менші вимірювання опору. Таким чином, чутливість термометрів опору достатньо висока для вимірювання величини вимірювання

температури менше 0,001 град. Термометри опору позбавлені низки недоліків, властивих скляно-рідинним термометрам, показання яких залежать від температури навколишнього середовища, депресії скла, похибки калібрування та ін. Цельсія.

Широко застосовується для вимірювання температур, використовується в основному в машинах змінного струму, а також в обмотках збудження машин постійного струму і синхронних машин. Термопари закладають у пази між шарами обмоток і на дно паза, в лобових частинах машини та інших важкодоступних місцях.

Для вимірювання температур в електричних машинах зазвичай застосовують мідно-константанові термопари, що складаються з мідного та константанового дроту діаметром близько 0,5 мм. В одній парі кінці термопари спаяні між собою. Місця спаю зазвичай поміщають в ту точку, де необхідно виміряти температуру («гарячий спай»), а другу пару кінців підключають безпосередньо до затискачів чутливого мілівольтметра з великим внутрішнім опором. У тому місці, де кінець константанового дроту, що не нагрівається, з'єднується з мідним провідником (на клемі вимірювального приладу або перехідної клема), утворюється так званий «холодний спай» термопари.

На поверхні контакту двох металів (константану та міді) виникає ЕРС, пропорційна температурі в місці контакту, причому на константані утворюється мінус, а на міді плюс. ЕРС виникає як на гарячому, так і на холодному спаї термопари. Однак оскільки температури спаїв різні, то й значення ЕРС різні, а так як у контурі, утвореному термопарою і вимірювальним приладом, ці ЕРС спрямовані назустріч один одному, то мілівольтметр завжди вимірює різницю ЕРС гарячого і холодного спаїв, що відповідає різниці температур.

Досвідом встановлено, що ЕРС мідно-константанової термопари становить 0,0416 мВ на 1 ° С різниці температур гарячого і холодного спаїв. Відповідно до цього можна відградувати шкалу мілівольтметра в градусах Цельсія. Оскільки термопара фіксує лише різницю температур, то визначення

абсолютної температури «гарячого» спаю слід до показань термопар додати температуру «холодного» спаю, виміряну термометром.

Термоопір, на відміну від термопар є пасивними елементами, що змінюють свій опір залежно від температури навколишнього середовища. Для визначення температури середовища потрібне зовнішнє джерело живлення. При зміні температури змінюється струм через термоопір, достатньо провести тарування шкали за відомої температури, для визначення абсолютної температури. Відмінною особливістю термоопорів є експонентоціальна залежність температури

$$R = A \cdot e^{\frac{B}{T}} \quad (1.1)$$

де А и В постійні.

Отже, температурний коефіцієнт є функцією абсолютної температури

$$\alpha = -\frac{B}{T^2}.$$

Тобто у разі підвищення температури абсолютна величина температурного коефіцієнта падає.

Ця властивість термоопорів є великим недоліком при вимірюваннях у порівнянні з металевими опорами, що мають практично лінійну залежність опору від температури. Одна з найважливіших властивостей термочутливого елемента полягає у стабільності характеристик. Враховуючи температурний коефіцієнт та старіння елементів при нормальному режимі роботи термін служби термоопорів практично необмежений.

На даний момент у промисловості використовуються два різні типи термоопорів:

Термоопір змінює свій опір за відомим законом, що дозволяє вимірювати абсолютну температуру середовища. Потрібний додатковий зовнішній цифровий перетворювач з індикацією. Найчастіше використовується 3-х та 4-х провідна схема підключення термоопору, для збільшення точності вимірювання.

Термоопір змінює свій опір стрибкоподібно (від 100Ом до 1-2кОм) при досягненні певної температури (працює як релейний елемент). Достатньо використання 2-х провідної схеми.

Використання термопар в даний час для двигунів малої та середньої потужності практично не застосовується. Для двигунів великої потужності (високої напруги) використовуються, але необхідно застосовувати спеціальні кабелі для виключення перешкод

Недоліки:

при використанні термопар передається сигнал напруги, що збільшує ймовірність впливу перешкод;

неможливість ремонту при виході з ладу, так як датчики укладаються в обмотки;

використання додаткового обладнання (перетворювачі сигналу, підсилювачі тощо);

складність у монтажі датчиків;

збільшена ізоляція проводів;

збільшення кількості датчиків для повнішої теплової картини, що веде до збільшення вартості двигуна (для промисловості в основному застосовується невелика кількість датчиків);

Переваги:

достатня тепла діагностика внутрішніх частин машини, щоб запобігти аварійному перегріву;

можливість сигналізації перегріву двигуна (до окремого паза) або аварійного відключення;

постійний моніторинг окремих частин машини в реальному часі;

можливість визначення елементів схем заміщення нагрівання частин двигуна при аналізі даних вимірювань (для термопар та терморезисторів);

створення стендів для отримання повнішої картини теплових процесів двигуна і складання математичних моделей.

Отже, використання датчиків температури дозволяє:

- аналізувати теплові процеси в двигуні і складати більш повні математичні моделі з використанням більшої кількості датчиків
- у промисловості застосовуються мала кількість датчиків, що використовуються тільки для захисту деяких частин двигуна, що діють на відключаючі апарати
- проводити постійний моніторинг деяких частин двигуна
- використання додаткових пристроїв для перетворення сигналів
- Використання датчиків з релейною характеристикою для аварійного відключення при перегріві

Метод опору

Визначення температури обмоток з опору постійному струму часто використовується для вимірювання температури обмоток. Метод ґрунтується на відомій властивості металів змінювати свій опір залежно від температури.

Для визначення перевищення температури здійснюють вимірювання опору обмотки в холодному і нагрітому станах і проводять обчислення.

Слід враховувати, що з моменту відключення двигуна до початку вимірів проходить деякий час, протягом якого встигає обмотка охолонути. Тож правильного визначення температури обмоток в останній момент відключення, тобто. в робочому стані двигуна, після відключення машини наскільки можна через рівні проміжки часу (по секундоміру) проводять кілька вимірів. Ці проміжки не повинні перевищувати часу від моменту вимкнення до першого виміру. Потім виробляють екстраполяцію вимірів, побудувавши графік $R = f(t)$.

Недоліки аналогічні методу вимірювання термометром

Методом амперметра – вольтметра

Перший вимір проводять не пізніше ніж через 1 хв від моменту відключення двигуна для машин потужністю до 10 кВт, через 1,5 хв - для машин потужністю 10-100 кВт і через 2 хв - для машин потужністю понад 100 кВт.

Якщо перший вимір опору вироблено лише через 15 – 20 з вимкнення, то опір приймають найбільше з перших трьох вимірів. Якщо перший вимір зроблено більш ніж через 20 секунд після відключення машини, то встановлюють поправку на охолодження. Для цього виробляють 6 – 8 вимірювань опору та будують графік зміни опору під час остигання. По осі ординат відкладають відповідні виміряні опори, а по осі абсцис - час (точно в масштабі), що пройшов від моменту вимикання електродвигуна до першого виміру, проміжки між вимірами і отримують криву, зображену на графіку суцільною лінією. Після цього продовжують цю криву вліво, зберігаючи характер її зміни, до перетину з віссю ординат (зображена пунктирною лінією). Відрізок на осі ординат від початку координат до перетину з пунктирною лінією з достатньою точністю визначає опір обмотки двигуна, що шукається, в гарячому стані.

Для закритих машин на напругу не більше 1500 В гранично допустимі перевищення температури обмоток статорів електродвигунів потужністю менше 5000 кВт або з довжиною сердечника менше 1 м, а також стрижневих обмоток роторів при вимірюванні температур методом опору допускається підвищувати на 5°C . При вимірі температури обмоток способом заміру їх опору визначається середня температура обмоток. Насправді ж під час роботи двигуна окремі зони обмоток, зазвичай, мають різну температуру. Тому максимальна температура обмоток, що визначає довговічність ізоляції, завжди трохи перевищує середнє значення.

Недоліки аналогічні методу вимірювання термометром.

1.2 Безконтактні методи

Як говорилося вище, основним приладом для безконтактного вимірювання температури двигуна є пірометр або тепловізор. Сучасні пірометри дозволяють вимірювати температури в широкому діапазоні. Наприклад, промислові пірометри з точністю до 1 градуса при температурі до

100-200 градусів Цельсія. Вони дозволяють побудувати повну теплову картину корпусу двигуна (для захищених двигунів), і частково внутрішніх частин машини (для двигунів відкритого виконання), виявити місця більшого нагріву для визначення місць ушкодження при випробуваннях ізоляції на температурний вплив, визначити місця дефектів у корпусі та сталі двигуна на момент складання в. т.д.

На даний час пірометри широко використовуються для діагностики пошкоджень, що виникають при складанні двигуна або ремонті (для двигунів великої потужності).

Існують стаціонарні пірометри та переносні. Другі використовуються для разового зняття картинки розподілу тепла в двигуні, для визначення пошкоджень. Перші застосовуються для діагностики стану двигуна при випробуваннях визначення браку.

Сучасні пірометри і програмне забезпечення до них дозволяють аналізувати стан певних частин і будувати залежності між навантаженнями двигуном. Можуть служити для отримання елементів схем заміщення та складання математичних моделей охолодження та тілообміну із зовнішнім середовищем, дозволяють побудувати картину розподілу теплових полів у певних частинах машини.

Недоліками є:

грозомізкість обладнання;

додаткове теплове екранування, зменшення спотворення даних;

використання дорогого обладнання та програмного забезпечення.

Переваги:

отримання картин теплого поля в частинах машини;

можливість моніторингу під час роботи;

отримання параметрів схем заміщення для моделювання;

визначення дефектів на етапах виробництва та складання при випробуваннях.

Використання пірометрів разом із датчиками температури дозволяє отримати більш повну картину теплових процесів. Це дозволяє точніше складати схеми заміщення м отримувати результати, близькі до реальних при моделюванні. Проектувати нові форми охолоджуючих поверхонь двигуна для оптимального охолодження, канали відведення тепла від частин двигуна, форми вентиляторів і т.д. Докладніше про види пірометрів та тепловізорів О.А. Геращенко, В.Г. Федоров «Теплові та температурні вимірювання» [13].

1.3 Непрямі методи

Для розгляду непрямих методів визначення температури розглянемо спрощену теплову модель двигуна [9] та режими роботи двигунів.

Складність теплової моделі двигуна спонукає користуватися практично щодо грубих оцінок гранично простий моделлю, побудованої у припущенні, що машина – однорідне тіло з постійної теплоємністю C , Дж/°З, з однаковою температурою переважають у всіх точках ϑ , з тепловіддачею у зовнішнє середовище $A\tau$, пропорційної коефіцієнту тепловіддачі A , Дж/с×°С, та різниці τ температури машини ϑ та навколишнього середовища ϑ_{oc} , тобто $\tau = \vartheta - \vartheta_{oc}$ °С.

Тоді рівняння теплового балансу для певного інтервалу часу dt буде

$$\Delta P dt = A\tau dt + Cd\tau \quad (1.2)$$

Поділив обидві частини на $A dt$ отримаємо:

$$\frac{\Delta P}{A} = \tau + \frac{Cd\tau}{A dt} \quad (1.3)$$

Або

$$\tau + T_T \frac{d\tau}{dt} = \tau_{const} \quad (1.4)$$

де

$T_T = \frac{C}{A}$ – теплова постійна часу;

$\tau_{const} = \frac{\Delta P}{A}$ – кінцеве (усталене) значення перевищення температури.

Рішенням рівняння є:

$$\tau = (\tau_{nach} - \tau_{kon})e^{-t/T_T} + \tau_{kon} \quad (1.5)$$

Рівняння дозволяє уявити динамічну теплову модель двигуна у вигляді передавальної функції $W(p) = \frac{\tau(p)}{\Delta P(p)} = \frac{1/A}{T_m p + 1}$ (1.6)

Зазначимо, що постійна часу T_m взагалі кажучи, - не постійна: у початковій частині нагріву, коли гріються лише активні частини, головним чином мідь обмоток, і тепло не встигає поширитися по всьому тілу машини, процес йде швидше, ніж по (3), т.е. $T_m' < T_m$ – пунктир на рис..1.1

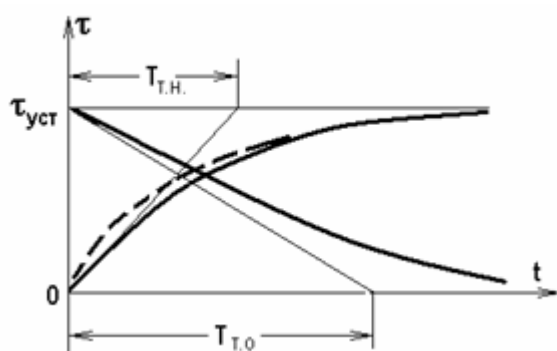


Рисунок 1.1 – Характеристики нагрівання – охолодження електричної машини

Для самовентильованих машин тепловіддача залежить від швидкості, зменшуючись із її зменшенням, т.е. $T_{\omega=0} > T_{m\omega}$ причому різниця може бути суттєвою - у 2 і більше разів – см. рис. 1.1. Деяке уявлення про порядок постійних часу машин при $\omega \approx \omega_n$ надає рис. 1.2.

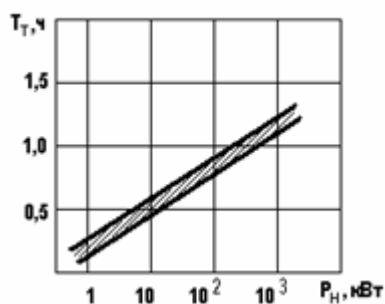


Рисунок 1.2 – Орієнтовна залежність теплової постійної пори від потужності електричної машини

Отже, реакція машини на швидкі зміни втрат у ній – відрізки експонентів із відносно великими (хвилини, навіть годинники для великих машин) постійними часу. У режимі, що встановився ($dt/dt = 0$) по (1.3) маємо

$$\tau = \Delta P / A \quad (1.7)$$

у номінальному режимі за визначенням

$$\tau_n = \Delta P_n / A \quad (1.8)$$

Знайдені закономірності нагрівання та охолодження двигунів дозволяють виділити три характерні стандартні режими роботи електроприводів.

Тривалий режим *S1* характеризується умовою

$$t_p > 3T_{m.n}, \quad (1.9)$$

тобто за час роботи t_p температура перегріву досягає значення, що встановилося (рис. 1.3,а), тривалість паузи ролі не грає.

Короткочасний режим *S2*, за якого

$$t_p \ll 3T_{m.n}, t_0 > 3T_{m.0} \quad (1.10)$$

тобто за час роботи перегрів не встигає досягти встановленої величини, а за час паузи t_0 двигун охолоджується до температури навколишнього середовища (рис. 1.3,б).

Повторно-короткочасний режим *S3* відповідає умовам

$$t_p \ll 3T_{m.n}, t_0 \ll 3T_{m.0} \quad (1.11)$$

тобто. за час роботи, перегрів не досягає τ_{ust} , а за час паузи не стає рівним нулю. При тривалому повторенні циклів процес встановлюється, тобто. температура перегріву на початку і в кінці циклу однакова і її коливання відбуваються близько середнього рівня τ_{cp} , (рис.1.3,в). Повторно-короткочасний режим характеризується відносною тривалістю включення ε або *ПВ*

$$\varepsilon = \frac{t_p}{t_p + t_0} \quad (1.12)$$

$$\text{ПВ} = \varepsilon \cdot 100\%$$

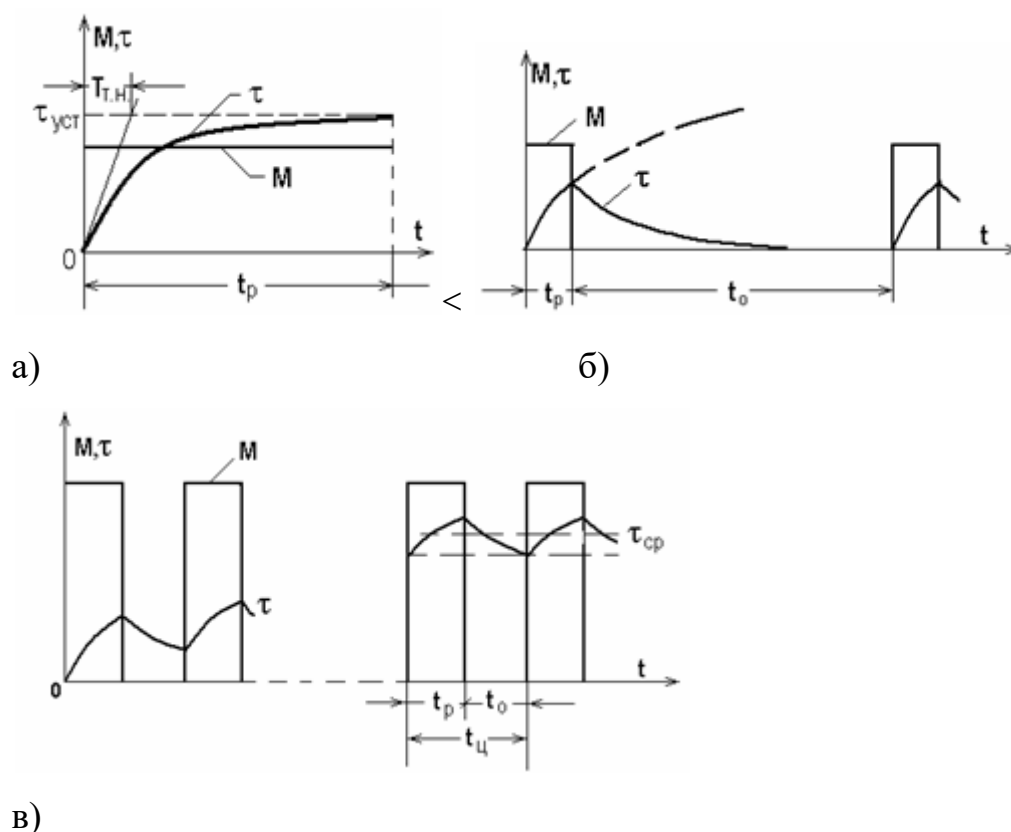


Рисунок 1.3 – Діаграми тривалого S1 (а), короткочасного S2 (б) та повторно короткочасного S3 (в) режимів

При повторно короткочасному режимі обмежується як ε ($\varepsilon \leq 0,6$), так і час циклу ($t_{ц} \leq 10$ мін).

Ще чотири стандартні режими базуються на перерахованих вище основних: S4 і S5 відрізняються від S3 врахуванням динамічних моментів при пуску та гальмуванні, S6 і S7 відповідають S1, але при змінному навантаженні (S6) та з урахуванням пуску та гальмування (S7). Стандартний режим S8 відображає найзагальніший випадок періодичної зміни M і ω .

Розглянемо основні непрямі методи виміру температури.

Непрямі методи набули найбільш широкого поширення в промисловості разом з терморезисторами для широкого діапазону потужностей і типів двигунів. Непрямі методи засновані не так на прямому вимірюванні температури частин двигуна, але в розрахунку інтегральної температури по заданим чи виміряним значенням величини і форми струму і напруги. Майже

всі низьковольтні теплові захисту двигунів здійснюються непрямим способом. Інтегральна температура ($I^2 t$) вимірюється двома основними способами:

Аналогове – засноване на термічних властивостях деяких металів чи сплавів змінювати форму під час підігріву. До появи мікросхемних рішень був одним з основних методів організації захисту двигуна. Є дві пластини з різних сплавів, струмопровідних або пластину зі сплаву, що повертає початкову форму при нагріванні (сплави на основі латуні з ефектом «пам'яті»). Безпосередньо врізається в силові ланцюги двигуна, що означає через пластину, проходить той же струм, що і через двигун за той же час. При досягненні певної температури діє відключаючий орган. У високовольтних захистах електромагнітні реле працюють разом із реле часу. Перевагами є простота в експлуатації та надійність, можливість використовувати трансформатори струму для двигунів великої потужності.

Недоліки:

- немає інформативності;
- складність точного настроювання;
- Використання різних елементів в залежності від режимів роботи двигуна - використання в силових частинах двигуна;
- механічні елементи у високовольтних захистах;
- при живленні від ПЧ і ТП не дозволяє враховувати втрати, що виникають від несинусоїдальної форми напруги живлення і струму, які ведуть до додаткових втрат у сталі.

Дискретний розрахунок інтегральної температури. З розширенням номенклатури мікросхем і появи мікроконтролерів стало можливе розраховувати інтегральну температуру. Практично всі сучасні пристрої пуску (деякі пускачі, пристрої плавного пуску, захисні пристрої фідерів двигунів) та регулювання швидкості двигуна (перетворювачі частоти, тиристорні перетворювачі тощо) оснащені цією функцією. Ці пристрої дозволяють:

- встановлювати режим роботи двигунів (або ПВ або режими S1 – S16);

- Визначати властивість захисту (клас, тип характеристики і т.д.);
- величину перевищення струму, при якому двигун перебуває в перевантаженні;
- Тип охолодження;
- Деякі перетворювачі дозволяють проводити зміну моделі двигуна (зміна опорів статора, ротора при зміні температури, враховувати нагрівання двигуна при відомій масі і т.д.).

Розрахунок ведеться за діючими значеннями струму за дискретні проміжки часу за ними вважається потужність виділена в двигуни (за відомими параметрами ККД, $\cos\phi$, номінального струму, потужності, теплової постійної часу, режиму роботи і т.д.).

Непрямі методи ґрунтуються на теплових рівняннях двигуна за відомих паспортних даних, типу двигуна і т.д. Використання цих методів спільно з термодатчиками в пазах двигуна дозволяють краще здійснити захист двигуна, а також приблизно передбачити температури двигуна при заданому навантаженні за певний час, щоб уникнути небажаного перегріву.

1.4 Використання математичних моделей для визначення теплового стану двигуна

Як уже говорилося вище, тепла математична модель дуже складна і все залежить від ступеня точності визначення теплового стану двигуна та деталізації. Спрощена тепла модель двигуна була описана в попередньому пункті, придатна тільки для дуже грубого розрахунку теплового стану двигуна і не охоплює режимів живлення від перетворювачів енергії (зокрема ПЧ), неоднорідності матеріалів двигуна, конструкцію та багато іншого.

На даний момент за наявності достатніх обчислювальних потужностей можна більш точно розраховувати теплові процеси в двигуні (зокрема асинхронний з КЗ ротором).

Моделювання теплових процесів у двигуні можна умовно розділити:

- моделювання розподілу теплових полів у частинах машини для діагностики пошкоджень та моделювання аварійних режимів роботи (міжвиткове, кз та інші);
- Створення схем заміщення розподіл тепла в двигуні, для обліку його впливу в системах управління електроприводу при живленні від різних джерел;
- за отриманими статичними даними визначення типів ушкоджень виходячи з математичних моделей;
- Створення еквівалентних теплових схем для проектування двигунів з урахуванням теплових процесів різних конструктивних виконань.

Широке поширення у процесі дослідження теплового стану електричних машин набули методи побудови теплової моделі з використанням еквівалентних теплових розрахункових схем заміщення. При цьому складається система рівнянь, яка враховує теплову взаємодію джерел тепловиділення у вузлах електричної машини. Однак та сама конструкція електричної машини може бути представлена різними тепловими схемами, що відрізняються ступенем деталізації можливих шляхів протікання теплових потоків. Основну проблему становить точне визначення теплових опорів між елементами конструкції, у яких відбувається виділення тепла, та довкіллям. Додаткові труднощі щодо теплових опорів виникають при обліку умов роботи електродвигуна від частотного перетворювача зі змінною швидкістю обертання ротора.

Теоретичні розрахунки, які, безсумнівно, становлять інтерес з наукової точки зору і дозволяють врахувати велику кількість параметрів машини, її виконання за способом охолодження та розподіл температур за об'ємом машини, не завжди придатні для практичного використання, оскільки вимагають знання великої кількості параметрів конструкції машини застосовуваних матеріалів. З практичної точки зору оптимальною є теплова модель, де всі параметри можуть бути взяті з паспорта електродвигуна або отримані шляхом геометричних вимірювань безпосередньо на машині.

Слід розглянути основні спрощення, пов'язані з тепловим моделюванням електричних машин:

основне завдання для практичного застосування визначення температурно-часових характеристик окремих ділянок машини

опис об'єкта полягає в знаходженні тимчасової характеристики, що описує теплову інерційність системи, в ідеальному випадку являє собою теплову постійну часу об'єкта.

динамічні характеристики системи, можна розділити на дві складові описують поведінку системи:

теплоємність об'єкта – впливає швидкість зміни температури об'єкта;

тепловий опір - між об'єктом, джерелом тепла і стоком - охолоджувачем або іншими частинами з нижчою температурою, характеризує швидкість процесу охолодження.

Характерними властивостями при розрахунку теплової моделі електродвигуна:

створення багатовузлових моделей, кожен тепловий вузол вважається однорідним і характеризується однією теплоємністю, опором (теплопровідністю - зворотною величиною) з іншими вузлами;

для розрахунку теплопровідності пакетів сталі береться тільки одна теплопровідність вздовж пакета, без урахування поперечної теплопровідності;

мідь обмотки відокремлена від активної сталі шаром корпусної ізоляції, крізь яку в режимі, що встановився, проходить вся теплота, що виділяється в стрижні, після цього тепловий потік розділяється на дві частини - через пакет активної сталі і з ізолюваної поверхні стрижня в канал між пакетами;

нагрівання ротора відбувається також по двох потоках - на поверхні в повітряному проміжку та всередину до радіальних каналів безпосередньо в сталь ротора;

температура охолоджуючого середовища на поверхні машини незмінна (найпростіший випадок) і відтік тепла постійний (для нерегульованих приводів

або приводів із зовнішнім обдуванням); для самовентильюючих регульованих приводів функція відтоку тепла з поверхні машини за всіх інших рівних умов є функцією частоти обертання;

для особливих режимів (гальмування противмиканням, динамічне гальмування та інші) необхідно враховувати зміну параметрів відведення тепла за незмінного значення тепловідведення;

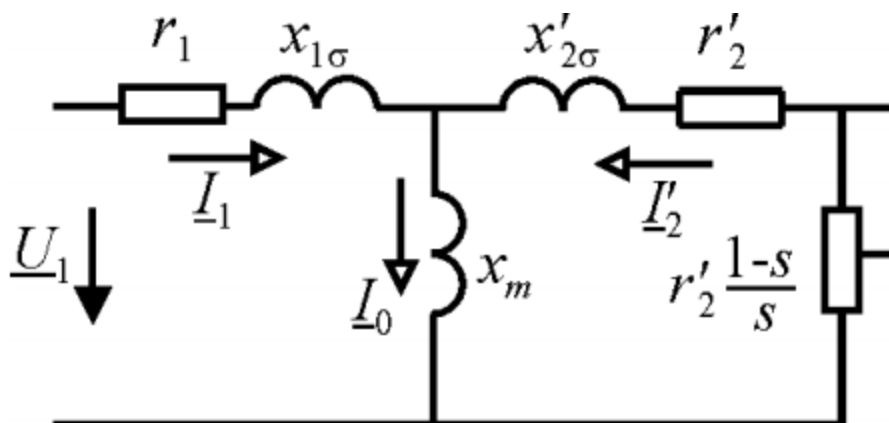
при живленні від перетворювачів енергії необхідно враховувати додаткові втрати в активній сталі при живленні від несинусоїдальної напруги та струму;

враховувати циркуляцію теплоносія (зокрема повітря) в частинах машини, наприклад тривалість дії струму динамічного гальмування після зупинки двигуна, при цьому в двигуні, що самовентильює, циркуляція потоку повітря не здійснюється.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПЧ-АД

2.1 Розрахунок параметрів схеми заміщення за паспортними параметрами двигуна

Для моделювання асинхронного двигуна приймаємо схему заміщення Г-подібну [5].



Рисинук 2.1 Г – образна схема заміщення двигуна

де

r_1 - активний опір статора АД;

r_2' - активний наведений опір ротора АД;

$x_{\sigma 1}$ - індуктивний опір розсіювання статора АД;

$x_{\sigma 2}'$ - індуктивний опір розсіювання ротора АД, наведений до статорної обмотки;

U_1 - фазна напруга живлення АД.

Побудуємо механічні характеристики двигуна за наведеними нижче паспортними даними.

Номінальна потужність $P = 30000 \text{ Вт}$

Номінальна швидкість $n = 723 \text{ об/мин}$

Номінальна напруга $U = 220 \text{ В}$

Кратність пускового струму $k_i = 6$

Кратність пускового моменту $k_{pusk} = 1.8$

Кратність максимального моменту $\lambda_{max} = 2.2$

Кратність мінімального моменту $\lambda_{min} = 1.2$

ККД $\eta_H = 0.905$

Коефіцієнт потужності $\cos\varphi_H = 0.81$

Визначимо параметри схеми заміщення

Номинальне ковзання:

$$s_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0} = \frac{94.248 - 90.855}{94.248} = 0.036 \quad (2.1)$$

$$\text{Где } \omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = \frac{2\pi \cdot 750}{60} = 78.54 \text{ рад/с} \quad (2.2)$$

$$\omega_n = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 723}{60} = 75.71 \text{ рад/с} \quad (2.3)$$

Критичне ковзання

$$s_k = \frac{s_n}{c_1} \left(\lambda_{max} + \sqrt{\lambda_{max}^2 - 1} \right) = \frac{0.036}{1.035} (2.2 + \sqrt{2.2^2 - 1}) = 0.145 \quad (2.4)$$

Де $c_1 = 1.035$

Споживана потужність

$$P_{1n} = \frac{P_{2n}}{\eta_H} = \frac{30000}{0.905} = 33150 \text{ Вт} \quad (2.5)$$

Номинальний струм

$$I_{1n} = \frac{P_{1n}}{m U_n \cos\varphi_H} = \frac{33150}{3 \cdot 220 \cdot 0.81} = 62.1 \text{ А} \quad (2.6)$$

Де $m=3$, кількість фаз двигуна

Номинальний наведений струм ротора

$$I_{2n} = I_{1n} \cos\varphi_H \sqrt{\frac{2\lambda_{max}s_n}{s_k}} = 62.1 \cdot 0.81 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 2.2 \cdot 0.036}{0.145}} = 52.6 \text{ А} \quad (2.7)$$

Номинальний момент двигуна

$$M_n = \frac{P_{2n}}{\omega_n} = \frac{30000}{75.71} = 396.25 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.8)$$

Максимальний момент

$$M_k = \lambda_{max} M_n = 2.2 \cdot 396.25 = 871.8 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.9)$$

Пусковий момент

$$M_p = \lambda_{пуск} M_n = 1.8 \cdot 396.25 = 792.5 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.10)$$

Мінімальний момент

$$M_{min} = \lambda_{min} M_n = 1.2 \cdot 396.25 = 475.5 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.11)$$

Загальні втрати

$$\Delta P = P_{1n} - P_{2n} = 33150 - 30000 = 3150 \text{ Вт} \quad (2.12)$$

Механічні втрати

$$\Delta P_{\text{мех}} = P_{1n} k_{\text{мех}} = 33150 \cdot 0.01 = 331.5 \text{ Вт} \quad (2.13)$$

Активний опір статора

$$r_1 = \frac{P_{1n} - P_{2n}}{m I_{1n}^2} = \frac{33150 - 30000}{3 \cdot 62.1^2} = 0.272 \text{ Ом} \quad (2.14)$$

Повний індуктивний опір двигуна

$$x_k = \frac{m U_n^2}{2 \omega_0 c_1 M_k} = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 78.54 \cdot 1.035 \cdot 871.8} = 1.024 \text{ Ом} \quad (2.15)$$

Індуктивний опір розсіювання статора

$$x_{1\sigma} = \frac{x_k}{1 + c_1^2} = \frac{1.024}{1 + 1.035^2} = 0.494 \text{ Ом} \quad (2.16)$$

Індуктивний опір розсіювання ротора

$$x_{2\sigma} = \frac{x_k - x_{1\sigma}}{c_1} = \frac{1.024 - 0.494}{1.035} = 0.512 \text{ Ом} \quad (2.17)$$

Активний наведений опір ротора

$$r_2 = \frac{s_k}{c_1} \sqrt{r_1^2 + x_k^2} = \frac{0.145}{1.035} \sqrt{0.272^2 + 1.024^2} = 0.148 \text{ Ом} \quad (2.18)$$

$$r_{12} = s_k \sqrt{r_1^2 + x_k^2} = 0.145 \cdot \sqrt{0.272^2 + 0.931^2} = 0.154 \text{ Ом} \quad (2.19)$$

Реактивна повна провідність

$$b_k = \frac{c_1 x_k}{(c_1 r_1 + c_1^2 \frac{r_2}{s_n})^2 + (c_1 x_k)^2} = \frac{1.035 \cdot 1.024}{\left(1.035 \cdot 0.272 + 1.035^2 \cdot \frac{0.148}{0.036}\right)^2 + (1.035 \cdot 1.024)^2} = 0.047 \quad (2.20)$$

Базовий опір двигуна

$$z_b = \frac{U_n}{I_{1n}} = \frac{220}{62.1} = 3.543 \text{ Ом} \quad (2.21)$$

Індуктивний опір намагнічування

$$x_\mu = \frac{1}{c_1 \cdot \left(\frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H}}{z_b} - b_k \right)} = \frac{1}{1.035 \cdot \left(\frac{\sqrt{1 - 0.81^2}}{3.543} - 0.047 \right)} = 8.152 \text{ Ом} \quad (2.22)$$

Індуктивності

$$\text{Індуктивність розсіювання статора } L_{1\sigma} = \frac{x_{1\sigma}}{\omega_0} = \frac{0.494}{78.54} = 0.0063 \text{ Гн}$$

$$\text{Індуктивність розсіювання ротора } L_{2\sigma} = \frac{x_{2\sigma}}{\omega_0} = \frac{0.512}{78.54} = 0.00652 \text{ Гн}$$

$$\text{Індуктивність намагнічування } L_{\mu} = \frac{x_{\mu}}{\omega_0} = \frac{8.152}{78.54} = 0.104 \text{ Гн}$$

$$\text{Індуктивність статора } L_1 = L_{1\sigma} + L_{\mu} = 0.0063 + 0.104 = 0.1103 \text{ Гн}$$

$$\text{Індуктивність ротора } L_2 = L_{2\sigma} + L_{\mu} = 0.00652 + 0.104 = 0.1105 \text{ Гн}$$

2.2 Побудова механічних характеристик за частотними законами

За формулою Клосса запишемо вирази [9, 10, 6] для моменту АД, підставляючи в нього значення параметрів з урахуванням частоти напруги живлення:

$$M = \frac{3 \cdot U_{\phi}^2(f) \cdot \frac{r_2'}{s(f)}}{\omega_0 \cdot (f) \cdot \left[\left(r_1 + \frac{r_2'}{s(f)} \right)^2 + x_k^2 \cdot (f) \right]} \quad (2.23)$$

Де $f^* = \frac{f}{f_n}$, $f = (10, 20 \dots 50) \text{ Гц}$ – частоти для різних характеристик,

$f_n = 50 \text{ Гц}$ – номінальна частота двигуна

(f) - функція залежності номінальної частоти від заданої

$U_{\phi}(f)$ - функція керування, залежність напруги від частоти: $U_{\phi} \cdot (f) = \sqrt{f}$,

$U_{\phi} \cdot (f) = f^2$, $U_{\phi} \cdot (f) = f$ - для трьох основних законів регулювання.

$s(f) = \frac{\omega_0 \cdot f^* - \omega}{\omega_0 \cdot f^*}$ - функція ковзання з урахуванням частоти, що

змінюється, відносно номінальної

В результаті перетворень підставивши у вираз моменту ковзання та функцію напруги, отримаємо остаточний вираз для побудови механічної характеристики:

$$M_f = \frac{3 \cdot (U_{\phi, \text{ном}} \cdot f^*)^2 \cdot \frac{r_2' \cdot \omega_{0H} \cdot f^*}{\omega_{0H} \cdot f^* - \omega}}{\omega_{0H} \cdot f^* \cdot \left[\left(r_1 + \frac{r_2' \cdot \omega_{0H} \cdot f^*}{\omega_{0H} \cdot f^* - \omega} \right)^2 + (\chi_\kappa \cdot f^*)^2 \right]} \quad (2.24)$$

$$M_{\sqrt{f}} = \frac{3 \cdot (U_{\phi, \text{ном}} \cdot f^{*2})^2 \cdot \frac{r_2' \cdot \omega_{0H} \cdot f^*}{\omega_{0H} \cdot f^* - \omega}}{\omega_{0H} \cdot f^* \cdot \left[\left(r_1 + \frac{r_2' \cdot \omega_{0H} \cdot f^*}{\omega_{0H} \cdot f^* - \omega} \right)^2 + (\chi_\kappa \cdot f^*)^2 \right]} \quad (2.25)$$

$$M_{f^2} = \frac{3 \cdot (U_{\phi, \text{ном}} \cdot \sqrt{f^*})^2 \cdot \frac{r_2' \cdot \omega_{0H} \cdot f^*}{\omega_{0H} \cdot f^* - \omega}}{\omega_{0H} \cdot f^* \cdot \left[\left(r_1 + \frac{r_2' \cdot \omega_{0H} \cdot f^*}{\omega_{0H} \cdot f^* - \omega} \right)^2 + (\chi_\kappa \cdot f^*)^2 \right]} \quad (2.26)$$

Підставивши різні значення частоти напруги живлення $10 \leq f \leq 50$ і швидкості від 0 до ω_0 у формулу, отримаємо значення моменту для механічних характеристик при різних частотах та законах управління

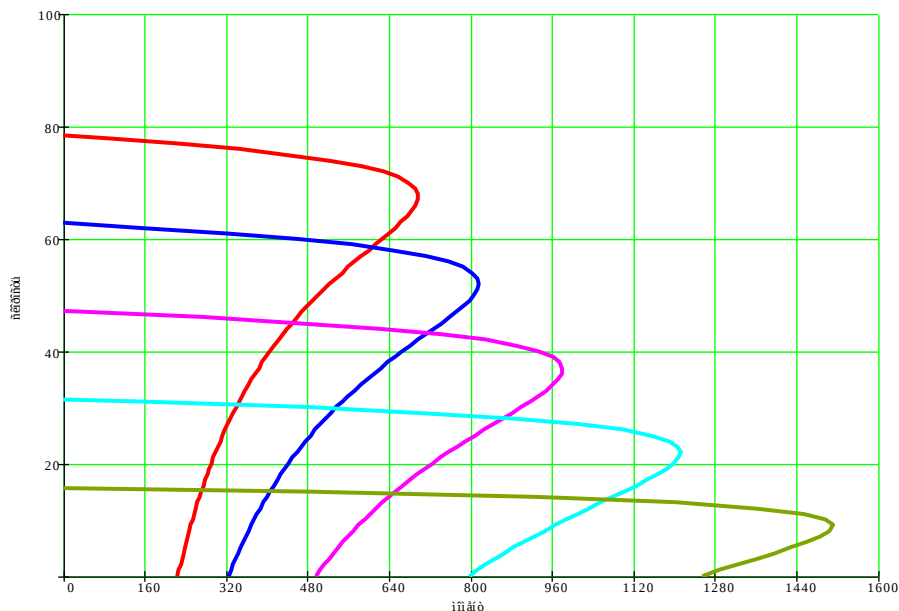


Рисунок 2.2 – Сімейство механічних характеристик двигуна для закону керування $U_\phi \cdot (f) = \sqrt{f}$

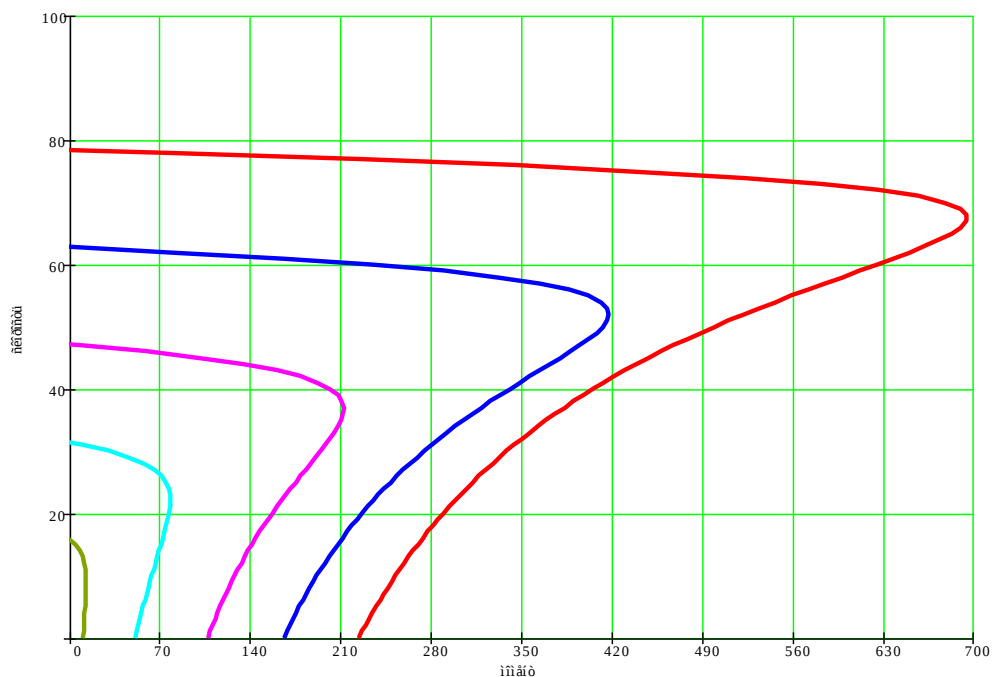


Рисунок 2.3 – Сімейство механічних характеристик двигуна для закону керування $U_{\phi} \cdot (f) = f^2$

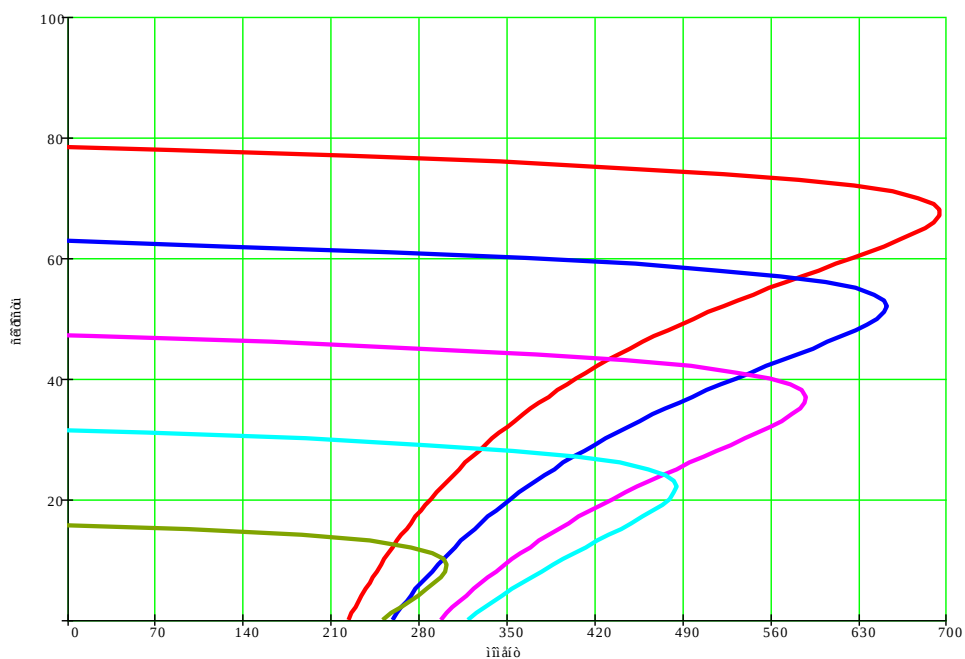


Рисунок 2.4 – Сімейство механічних характеристик двигуна для закону керування $U_{\phi} \cdot (f) = f$ (без компенсації активного опору статора)

2.3 Розробка математичної моделі ПЧ

На даний момент в основному застосовуються перетворювачі частоти зі ланкою з нерегульованою [8, 14] ланкою постійного струму. Напряга живлення U_n подається безпосередньо на ключі інвертора напруги чи струму. Розглянемо роботу трифазного інвертора напруги при ШІМ.

Трифазна система напруг інвертора утворює симетричну врівноважену систему [14].

$$U_A + U_B + U_C = 0 \quad (2.27)$$

У той же час система фазних напруг плечей інвертора, що відраховується від середньої точки джерела вхідної напруги, не є врівноваженою.

$$\frac{(U_{A0} + U_{B0} + U_{C0})}{3} = U_0 \quad (2.28)$$

Тоді фазна напруга інвертора

$$\begin{aligned} u_A &= u_{A0} - u_0 = \frac{(2 \cdot u_{A0} - u_{B0} - u_{C0})}{3} \\ u_B &= u_{B0} - u_0 = \frac{(2 \cdot u_{B0} - u_{A0} - u_{C0})}{3} \\ u_C &= u_{C0} - u_0 = \frac{(2 \cdot u_{C0} - u_{B0} - u_{A0})}{3} \end{aligned} \quad (2.29)$$

Перетворимо отримані вирази у систему координат α, β прив'язаних до частоти поля статора. Так узагальнений вектор у цих координатах:

$$\dot{u} = u_\alpha + j u_\beta = \frac{2}{3} (u_A + a u_B + a^2 u_C) \quad (2.30)$$

Де

$$a = e^{j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} - \text{одичний оператор повороту на } 120^\circ \quad (2.31)$$

$$a^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} - \text{одичний оператор повороту на } 240^\circ \quad (2.32)$$

Підставивши (2.31) і (2.32) в (2.30) отримаємо залежність для вектора напруги в координатах α, β від фазних напруг інвертора

$$\dot{u} = u_\alpha + j u_\beta = u_A + j \frac{u_B - u_C}{\sqrt{3}} = u_A + j \frac{u_{BC}}{\sqrt{3}} \quad (2.33)$$

Де

$$\text{Модуль вектор } |\dot{u}| = \sqrt{u_\alpha^2 + u_\beta^2} \quad (2.34)$$

$$\text{Фаза } \Theta = \arctg \frac{u_\beta}{u_\alpha} \quad (2.35)$$

Функціональна схема ПЧ (Додаток Б)

2.4 Розробка математичної моделі АД

Беремо систему координат, [6, 5] прив'язану до швидкості обертання статора, як і інвертора. Тоді кутова частота буде визначатися кутовою частотою обертання поля мережі ω_1 , а ротора $\omega_2 = \omega_1 - \omega$. Електричні рівняння набудуть вигляду

$$\underline{u}_1 = \underline{i}_1 r_1 + \frac{d\Psi_1}{dt} + j\omega_1 \Psi_1 \quad (2.36)$$

$$0 = \underline{i}_2 r_2 + \frac{d\Psi_2}{dt} + j\omega_2 \Psi_2$$

Для обчислення модуля електромагнітного моменту АД використовуємо вектори потокозчеплення статора $\underline{\Psi}_1$ и струму ротора $\underline{i}_2$, підставивши у вираз моменту:

$$m = \frac{3}{2} z_p L_m (\underline{i}_2 \times \underline{i}_1) = \frac{3}{2} z_p \frac{L_m}{L_2} (\Psi_2 \times \underline{i}_1) \quad (2.37)$$

$$\text{Струм статора } \underline{i}_1 = \frac{\Psi_1 - \underline{i}_2 L_m}{L_1} = \frac{\Psi_1}{L_1} - \underline{i}_2 k_1 \quad (2.38)$$

Тоді вираз для моменту набуде вигляду:

$$m = \frac{3}{2} z_p k_1 (\underline{i}_2 \times \underline{\Psi}_1) = -\frac{3}{2} z_p k_1 (-\Psi_{1y} i_{2x} + \Psi_{1x} i_{2y}) = \frac{3}{2} z_p k_1 (\Psi_{1y} i_{2x} - \Psi_{1x} i_{2y}) \quad (2.39)$$

Де $k_1 = \frac{L_m}{L_1}$ – коефіцієнт зв'язку статора.

Виключаючи потік $\Psi_2 = \Psi_1 k_1 + L_2 \dot{i}_2$ и ток $\underline{i}_1 = \frac{\Psi_1}{L_1} - \underline{i}_2 k_1$ і підставивши в вираз (2.36)

Отримаємо:

$$\underline{u}_1 = \Psi_1 \left(\frac{1}{T_1} + p + j\omega_1 \right) - i_2 k_1 r_1 \quad (2.40)$$

$$0 = \Psi_1 (p + j\omega_2) + i_2 \frac{(r_2 + L_2 p + j\omega_2 L_2)}{k_1}$$

Де

$$\dot{L}_2 = \frac{L_2 L_1 - L_m^2}{L_1} = L_2 \sigma$$

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_2 L_1} - \text{коефіцієнт розсіювання}$$

$$T_1 = \frac{L_1}{r_1} - \text{електромагнітна постійна статора}$$

$$\underline{u}_1 = \Psi_1 \left(\frac{1}{T_1} + j\omega_1 \right) + i_2 \frac{\dot{r}(1+pT) + j\omega_2 \dot{L}_2}{k_1} \quad (2.41)$$

Де

$$\dot{r} = k_1^2 r_1 + r_2$$

$$T = \frac{\dot{L}_2}{\dot{r}}$$

Розділимо рівняння (2.41) на дійсні та уявні частини

$$u_{1x} = (\Psi_{1x} + j\Psi_{1y}) \left(\frac{1}{T_1} + j\omega_1 \right) + (i_{2x} + ji_{2y}) \frac{\dot{r}(1+pT) + j\omega_2 \dot{L}_2}{k_1} \quad (2.42)$$

Звідси струм ротора в проекціях:

$$i_{2x} = \frac{k_1}{\dot{r}(1+pT)} \left(\frac{\Psi_{1x}}{T_1} - \Psi_{1y}\omega_1 - u_{1x} + i_{2y}\omega_2 \frac{\dot{L}_2}{k_1} \right) \quad (2.43)$$

$$i_{2y} = \frac{k_1}{\dot{r}(1+pT)} \left(\frac{\Psi_{1y}}{T_1} + \Psi_{1x}\omega_1 - i_{2x}\omega_2 \frac{\dot{L}_2}{k_1} \right) \quad (2.44)$$

Тепер необхідно виразити потокозчеплення статора для отримання моменту двигуна:

$$\Psi_{1x} = \frac{T_1}{(1+pT_1)} (u_{1x} + i_{2x}k_1r_1 + \Psi_{1y}\omega) \quad (2.45)$$

$$\Psi_{1y} = \frac{T_1}{(1+pT_1)} (i_{2y}k_1r_1 - \Psi_{1x}\omega) \quad (2.46)$$

Тоді функціональна схема матиме вигляд (Додаток А)

2.5 Дослідження математичної моделі ПЧ-АД

Побудуємо графіки залежності швидкості, час від часу під час пуску без навантаження і під навантаженням, а також механічну характеристику двигуна.

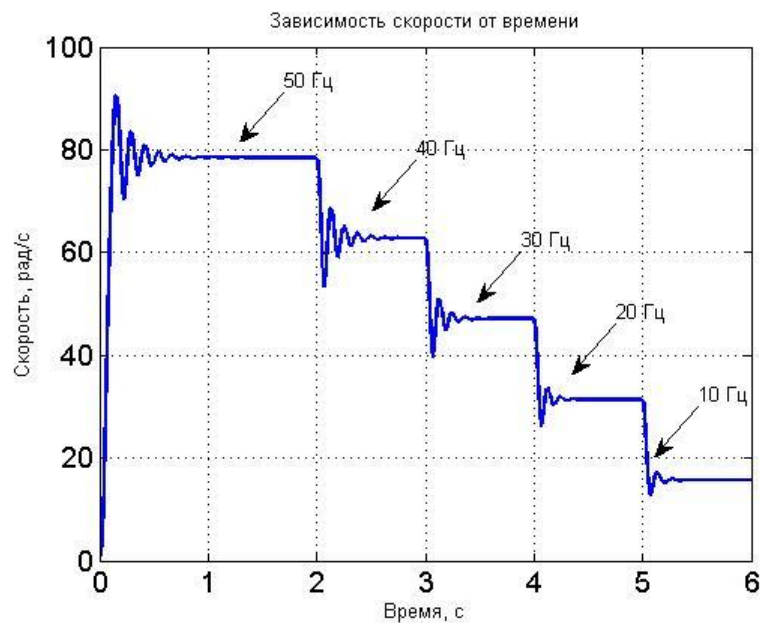


Рисунок 2.5 – Запуск двигателя на холостом ходу, зависимость скорости от времени. Закон регулирования $U_{\phi} \cdot (f) = \sqrt{f}$

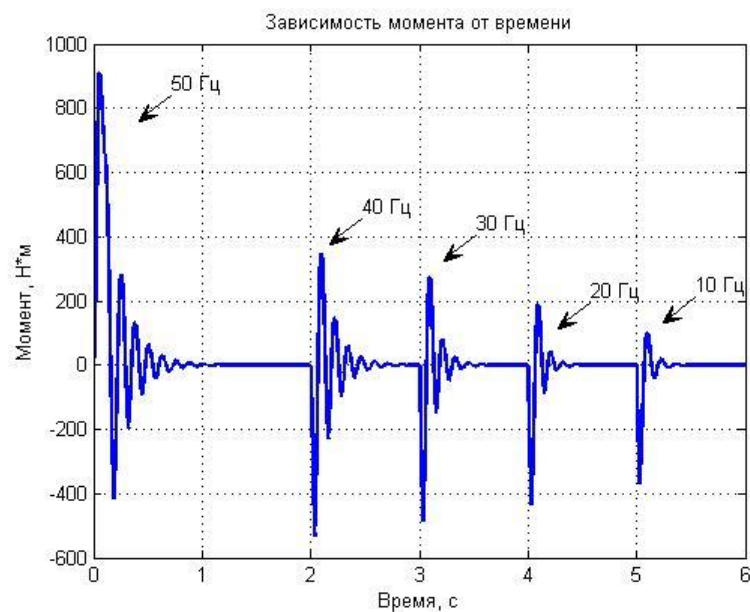


Рисунок 2.6 – Пуск двигателя на холостом ходу, зависимость момента от времени. Закон регулирования $U_{\phi} \cdot (f) = \sqrt{f}$

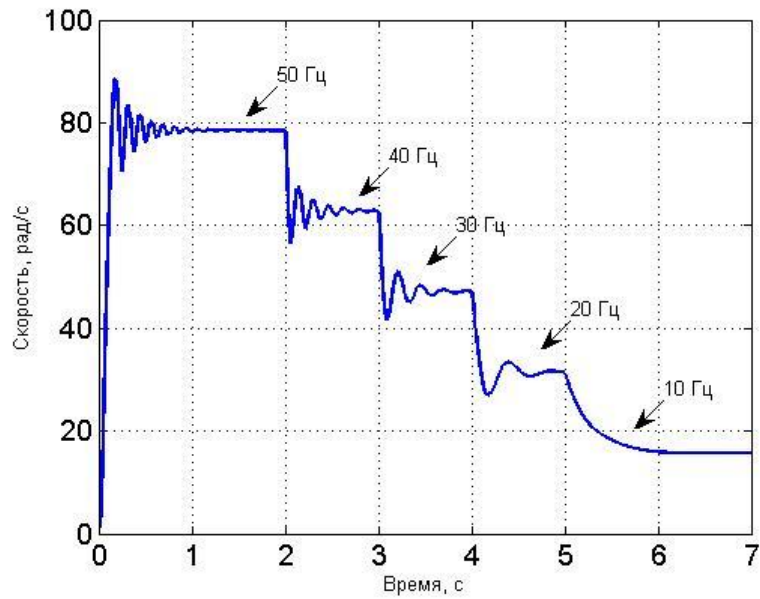


Рисунок 2.7 – Запуск двигуна на холостому ходу, залежність швидкості від часу. Закон регулювання $U_{\phi} \cdot (f) = f^2$

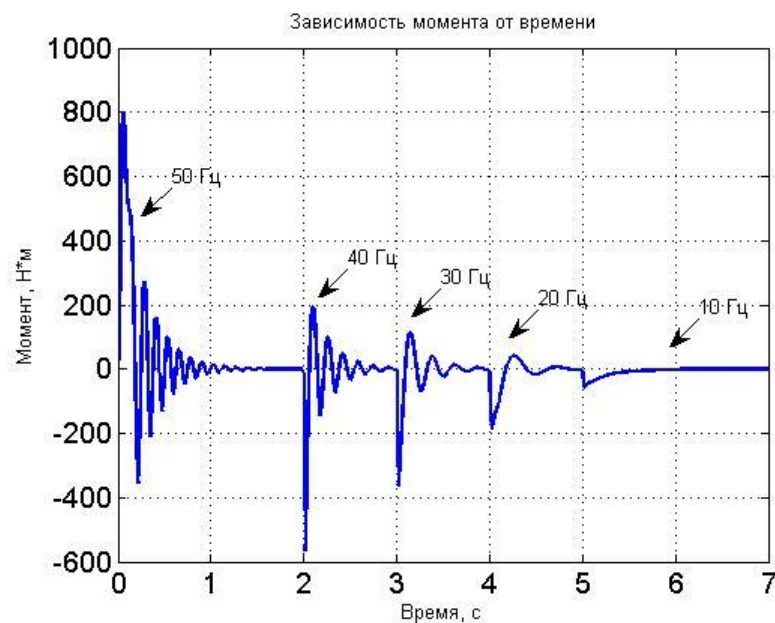


Рисунок 2.9 – Пуск двигуна на холостому ходу, залежність моменту. Закон регулювання $U_{\phi} \cdot (f) = f^2$

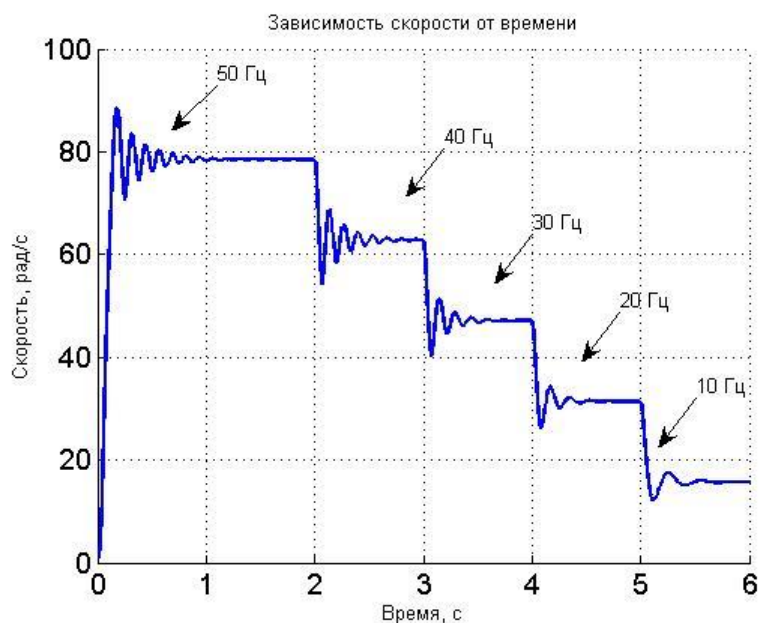


Рисунок 2.10 – Запуск двигателя на холостом ходу, зависимость скорости от času. Закон регулирования $U_{\phi} \cdot (f) = f$

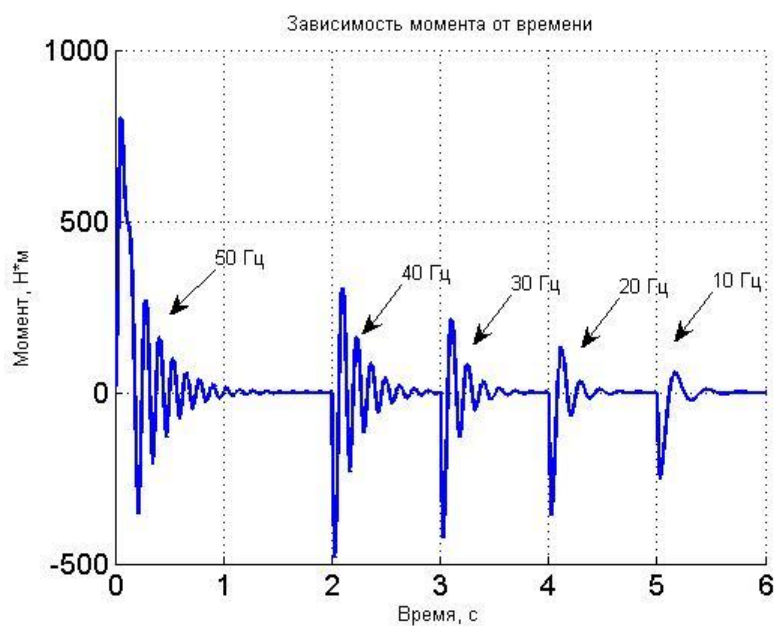


Рисунок 2.11 – Пуск двигателя на неодруженном ходу, зависимость момента от часу. Закон регулирования $U_{\phi} \cdot (f) = f$

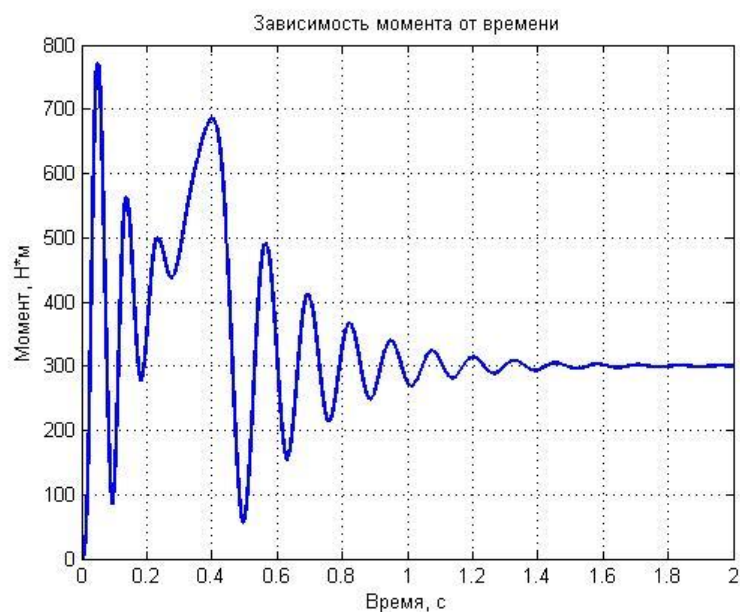


Рисунок 2.12 – Пуск двигуна під навантаженням, залежність моменту від часу, для частоти 50 Гц та моменту навантаження 300 Н*м.

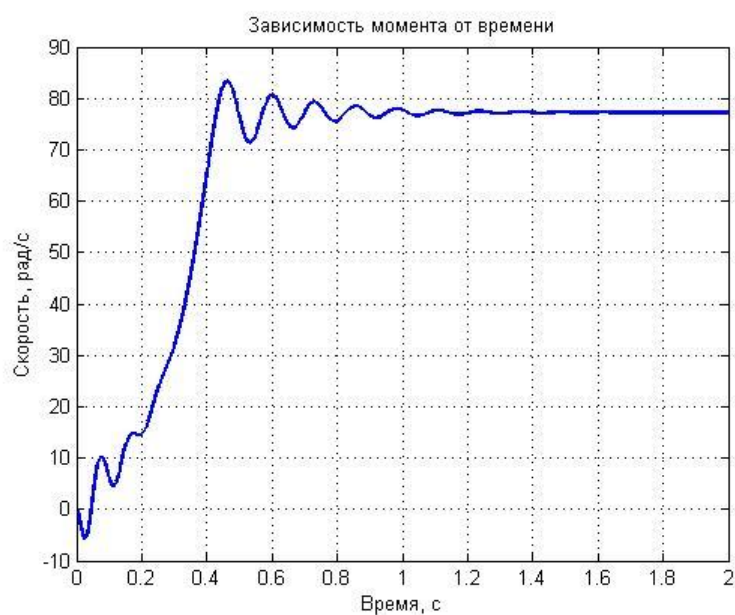


Рисунок 2.13 – Пуск двигуна під навантаженням, залежність швидкості від часу, для частоти 50 Гц та моменту навантаження 300 Н*м.

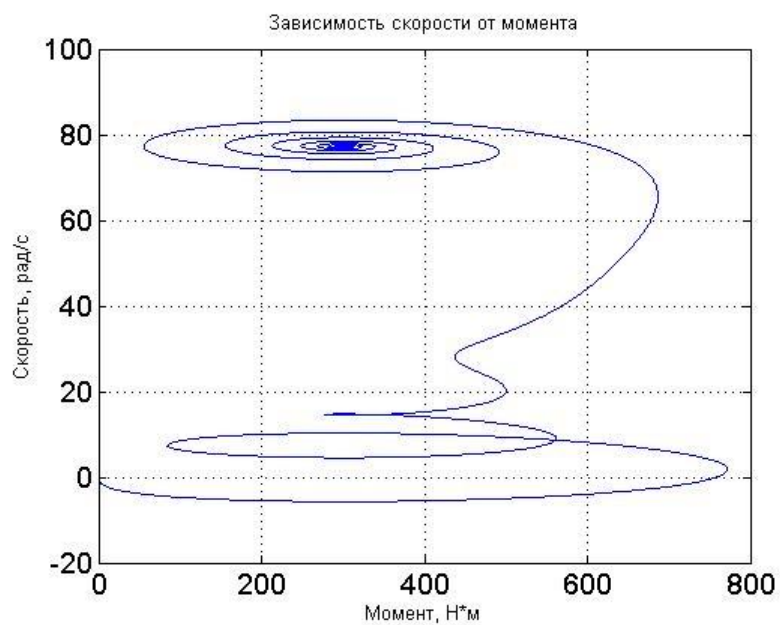


Рисунок 2.13 – Пуск двигателя под нагрузкой, зависимость скорости от момента для частоты 50 Гц и момента нагрузки 300 Н*м.

3 ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ АД

3.1 Визначення джерел тепла

Джерелами тепла в електричних машинах є місця зосередження втрат [4, 12].

Втрати визначаються в ході електромагнітного розрахунку при проектуванні машини та при тепловому розрахунку передбачаються заданими; наведені тут співвідношення можуть бути лише попередньої оцінки.

Зазвичай втрати розбивають на чотири групи.

1. Механічні втрати:

- а) на тертя у підшипниках.
- б) вентиляційні (на переміщення охолоджуючого середовища)

2. Електричні втрати:

- а) в обмотках статора та ротора.

3. Магнітні втрати:

- а) гістерезисні
- б) вихрові сталі, пов'язані з основним магнітним потоком.

4. Додаткові втрати:

- а) у сталі
- б) в обмотках.

Втрати перших трьох груп заведено називати основними.

Додаткові втрати пов'язані з вищими гармоніками магнітного потоку, з витісненням його в пази та розсіюванням в ділянці кінцевих частин. Ці втрати досить значні та розподілені нерівномірно. Оскільки більшість додаткових втрат зосереджена поверхневого шарі товщиною кілька міліметрів, їх питоме значення може у багато разів перевищувати питоме значення основних втрат.

У випадку втрати є функцією координат і часу. Однак у більшості практичних завдань досить знати сумарні розподілені втрати в окремих елементах електричної машини при встановився тепловому режимі.

Термічні дефекти є наслідком порушення нормального теплообміну усередині електричної машини. Нормальному стану системи охолодження відповідає відображення температурної картини машини загалом або її вузлів при заданих режимах тепловиділення та відведення тепла.

Термічні дефекти поділяють на:

загальні (підвищення температури рівномірно по всьому об'єму машини),

вузлові (підвищення температури в межах окремого вузла)

місцеві (локальне підвищення температури, наприклад, ділянки обмотки або активної зони сталі).

За наявності місцевих температурних дефектів зростає температура пошкодженої області, також зростає температура суміжних областей (але меншою мірою) і теплообмінника, внаслідок підвищення температури теплового прикордонного шару.

Причини появи термічних дефектів класифікують за двома групами:

пов'язані із збільшенням тепловиділення (режим роботи, пошкодження обмоток, сталі, живлення мережі тощо);

пов'язані з погіршенням відведення тепла (збільшена температура зовнішнього середовища, погіршення вентиляції, зміна швидкості обертання для двигунів із самовентиляцією).

Перегрів, спричинений різними пошкодженнями двигуна.

Зміна характеристики електротехнічної сталі змінюються внаслідок часткового руйнування міжлистової лакової ізоляції у кромках зубців, наклепів сталі тощо. Тому поверхневий шар сталі в деякому наближенні можна вважати феромагнітним екраном на межі зазор - пакет сталі статора. Результатом цього є суттєве зростання втрат від вихрових струмів, що, природно, призводить до збільшення потоків розсіювання та зниження ефективного потоку в зазорі. За

наявності локального замкнутого контуру, за рахунок збільшення втрат на вихрові струми, виникатиме перегрів у ділянці обмотці прилеглого до ділянки пакета сталі із замкнутим контуром, при цьому загальна температура обмотки не перевищуватиме допустиму. Встановлено також факт зниження максимальної індукції у зазорі залежно від числа та характеру впливів на сталь за її передремонтної обробки. Характерно, що сталь електричних машин, що пройшли капітальний ремонт, при номінальному навантаженні працює в режимі насичення, внаслідок чого в кривій мережного струму з'являються гармоніки вищого порядку, які впливають на загальні втрати в сталі.

Міжвиткове замикання (недостатнє для відбраковування двигуна), що веде до збільшення струму статора в одній або декількох фазах двигуна, додаткового нагрівання міді, що призводить до локальних перегрівів у вузлах двигуна.

3.2 Визначення зовнішніх факторів, що впливають на теплові процеси в АД

Зовнішні чинники що впливають теплові втрати двигуна[15, 16].

Неякісне харчування мережі - в даний час пов'язане з харчуванням від перетворювача частоти, який вносить додаткові гармоніки напруги та струму, несиметричне харчування і т.д. Несиметрія живлячого напруги призводить до зміни режиму енергоспоживання: виникнення перемінної складової потужності АД, змінної складової моменту і коливань швидкості обертання двигуна. У режимах несиметрії напруги живлення струм статора АД залишається синусоїдальним, але споживана потужність містить гармоніки подвійної частоти. Несиметрія міжфазних напруг викликається наявністю складових зворотної послідовності, а несиметрія фазних – ще й наявністю складових нульової послідовності. Опір АД струмам прямої послідовності в 5-7 разів менше опору струмам зворотної послідовності. За наявності навіть невеликого значення складової напруги зворотної послідовності виникає значний струм зворотної послідовності. Цей струм накладається на струм прямої

послідовності та викликає додатковий нагрівання ротора та статора. Несинусоїдність напруги мережі живлення – це спотворення форми кривої напруги, викликані струмами вищих гармонік елементів мережі з нелінійними вольт-амперними характеристиками. В АД вищі гармоніки спричиняють великі втрати активної потужності, пов'язані зі збільшенням активних опорів обмоток. За наявності вищих гармонік у кривій напругі процес старіння ізоляції протікає більш інтенсивно, ніж при синусоїдальній напрузі.

Живлення від не номінальної напруги. Вплив зміни напруги живлення U_1 за умови сталості живильної частоти f_1 . Зазвичай АД розраховують так, щоб при номінальному режимі η (ККД) та коефіцієнт потужності $\cos \varphi_1$ були близькі до максимальних. З іншого боку, максимум η має місце, коли механічні втрати і втрати сталі рівні електричних втрат в обмотках. Тому вплив зміни напруги є неоднозначним і залежить від навантаження на вал двигуна. При збільшенні напруги відбувається зростання магнітного потоку Φ , отже, збільшення струму холостого ходу та магнітних втрат у сталі.

Живлення від номінальної частоти. Вплив зміни частоти живлення f_1 на роботу двигуна за умови сталості напруги живлення $U_1 = \text{const}$ і моменту навантаження $M_c = \text{const}$. Зміна частоти призводить до зміни магнітного потоку і відповідної зміни струму ротора I_2 і активної складової струму статора I_2' . При зменшенні частоти f_1 відбувається збільшення магнітного потоку і струму, що намагнічує, а, отже, і струму холостого ходу I_0 , який через насичення сталі магнітопроводу зростає швидше, ніж магнітний потік. Зазвичай зменшення частоти f_1 на 10% викликає збільшення струму I_0 на 20-30%. Так як струм I_0 є практично реактивним, це призводить до зниження коефіцієнта потужності двигуна. При збільшенні частоти f_1 відбувається пропорційне зростання частоти обертання ω . Якщо навантаження має вентиляторний характер, то момент навантаження зростає пропорційно квадрату або кубу частоти обертання, отже, частоти f_1 . Крім того, магнітний потік зменшується обернено

пропорційно зміні частоти f_1 . Все це призводить до різкого збільшення струму ротора I_2 . При зростанні частоти на 10% струм ротора двигуна, що обертає вентилятор, збільшиться приблизно в 15 рази, що може призвести до перегріву двигуна. При незмінному моменті навантаження збільшення частоти підвищує небезпеку порушення стійкості двигуна, оскільки максимальний момент двигуна знижується пропорційно f_1^2 . Таким чином, відхилення частоти f_1 від номінального значення призводить до погіршення умов роботи двигунів у режимах, близьких до номінального навантаження. У цьому випадку втрати сталі можуть бути визначені за допомогою виразу [16]:

$$P_c = P_z + P_{\alpha} = a f U_1^2 + b f^2 U_1^2 \quad (3.1)$$

де: f – частота мережі, Гц;

U_1 – напруга статора, Тл;

a = 1,4, b = 1,6 – коефіцієнти.

При зниженні частоти на 20% при номінальній напрузі втрати сталі зростають на 15%. Однак зростання втрат у сталі компенсується зниженням втрат у міді, оскільки знизиться струм, що протікає по обмотках статора та ротора. Таким чином, при вимушеному зниженні частоти мережі живлення до 80% АТ може працювати в умовах легших, ніж у номінальному режимі, так як при такому зниженні частоти струм статора знижується до 90%, зменшуючи нагрівання машини. При одночасному відхиленні частоти та напруги АТ може віддавати номінальну потужність, якщо сумарне відсоткове відхилення цих параметрів не перевищує 10%.

3.3 Створення математичної моделі визначення інтегральної температури АД

Для запобігання передчасному виходу з експлуатації необхідно контролювати його тепловий стан або вміти розрахувати температуру найбільш нагрітих елементів двигуна при заданому характері навантаження. Контроль теплового стану реального двигуна утруднений, тому основну увагу приділимо

його розрахунку на базі еквівалентної теплової схеми заміщення (ЕТСЗ). Даний метод заснований на заміні двигуна, що складається з n -елементів з притаманними кожному елементу питомою теплоємністю та тепловіддачею, системою з кінцевим числом розрахункових тіл. Зазвичай, у практичних розрахунках число розрахункових тіл приймається рівним двом, п'яти, семи, не перевищують цих чисел і теплові аналоги, що використовуються в схемах захисту двигунів.

Тепловий стан n -го тіла може бути описаний наступним рівнянням [12]

$$C_n \frac{d\Theta_n}{dt} = \sum_{i=1}^{q(i \neq n)} \Lambda_{in} (\Theta_i - \Theta_n) + P_n \quad (3.2)$$

де C_n – теплоємність n -го тіла; Θ_n – температура n -го тіла; Θ_i – температура одного із сусідніх тіл i ; q – кількість тіл, пов'язаних у тепловому відношенні з розглянутим тілом n ; Λ_{in} – тепловіддача від одного із сусідніх тіл i до цього тіла n ; P_n – пвтрати потужності в даному тілі n ; t – поточний час.

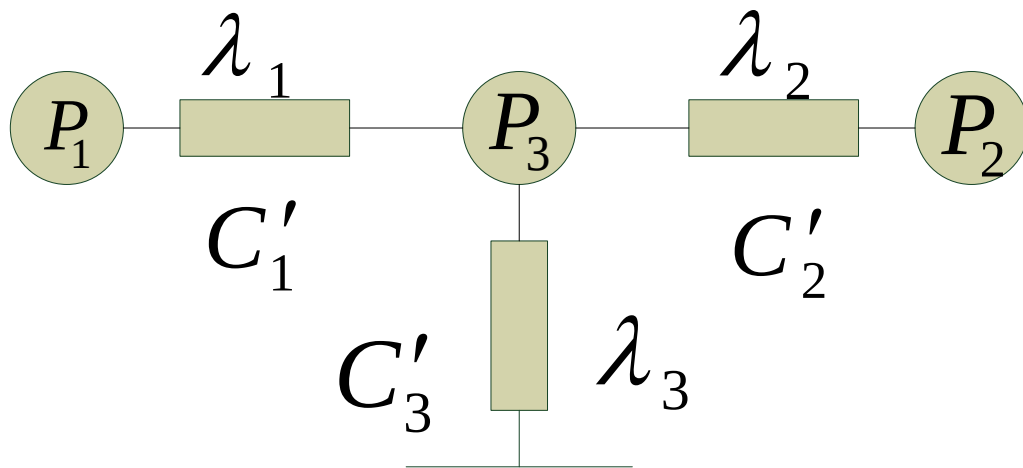


Рисунок 3.1 – Схема заміщення теплових процесів в асинхронному двигуні

Для системи з 3-х тіл рівняння теплового балансу матимуть такий вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1' \frac{d\Theta_1}{dt} = P_{M1}(t) - a_{11}\Theta_1 + a_{13}\Theta_3 \\ C_2' \frac{d\Theta_2}{dt} = P_{M2}(t) - a_{22}\Theta_2 + a_{23}\Theta_3 \\ C_3' \frac{d\Theta_3}{dt} = P_{M3}(t) - a_{33}\Theta_3 + a_{13}\Theta_1 + a_{23}\Theta_2 \end{array} \right\} \quad (3.3)$$

Де

C_1, C_2, C_3 - повні теплоємності обмоток статора, ротора та сталі статора.

$C_3 = 500 \text{ Дж/кг} \cdot \text{C}^\circ$ - теплоємність сталі, $C_3' = C_3 \cdot m_3 = 500 \cdot 52.7 = 26350 \text{ Дж/C}^\circ$

$m_3 = 52.7 \text{ кг}$ - маса сталі статора

$C_1 = 390 \text{ Дж/кг} \cdot \text{C}^\circ$ - теплоємність міді, $C_1' = C_1 \cdot m_1 = 390 \cdot 6.26 = 2440 \text{ Дж/C}^\circ$

$m_1 = 6.26 \text{ кг}$ - маса міді статора

$C_2 = 910 \text{ Дж/кг} \cdot \text{C}^\circ$ - теплоємність алюмінію, $C_2' = C_2 \cdot m_2 = 910 \cdot 4.18 = 3803 \text{ Дж/C}^\circ$

$m_2 = 4.18 \text{ кг}$ - маса алюмінію ротора.

$\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$ - поточне значення температур обмоток.

$P_{M1}(t), P_{M2}(t), P_{M3}(t)$ - поточне значення втрат у статорі та роторі та сталі статора.

$$a_{11} = a_{13} = \Lambda_{13}$$

$$a_{22} = a_{23} = \Lambda_{23}$$

$$a_{33} = a_{13} + a_{23} + a_{30} = \Lambda_{13} + \Lambda_{23} + \Lambda_3$$

$R_3 = 0.0093$ – тепловий опір поверхні двигуна

$R_{13} = 0.0058$ – тепловий опір обмотки статора.

$R_{23} = 0.00981$ - тепловий опір обмотки ротора.

Вираз для електричних втрат має вигляд [9, 11]

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{M1}(t) = 3I_s^2 R_s \\ P_{M2}(t) = 3I_r^2 R_r \\ P_{M3}(t) = P_{ст.н} \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^\beta \end{array} \right\} \quad (3.4)$$

Де

$\beta = 1.5$ - коефіцієнт втрат.

I_s, I_r – діючі значення струмів ротора та статора

$$\begin{cases} I_s = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{i_{sx}^2 + i_{sy}^2} \\ I_r = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{i_{rx}^2 + i_{ry}^2} \end{cases} \quad (3.5)$$

$B \approx 1,5 \text{ Тл}$ - індукція статора

$P_{ст.ном} = 682$ – номінальні втрати у сталі двигуна

Визначаємо коефіцієнти схеми заміщення.

Тоді рівняння набуде вигляду:

$$\begin{cases} 2440 \frac{d\Theta_1}{dt} = \frac{3R_s}{2} \cdot \left(\sqrt{i_{sx}^2 + i_{sy}^2} \right)^2 - 172.4 \cdot \Theta_1 + 172.4 \cdot \Theta_3 \\ 3803 \frac{d\Theta_2}{dt} = \frac{3R_r}{2} \cdot \left(\sqrt{i_{rx}^2 + i_{ry}^2} \right)^2 - 102 \cdot \Theta_2 + 102 \cdot \Theta_3 \\ 26350 \frac{d\Theta_3}{dt} = 682 \cdot \left(\frac{f}{f^*} \right)^{1.5} - 382.2 \cdot \Theta_3 + 172.4 \cdot \Theta_1 + 102 \cdot \Theta_2 \end{cases} \quad (3.6)$$

Або підставивши значення

$$\begin{cases} \Theta_1 = \frac{1}{\left(p + \frac{172.4}{2440}\right)} \left(\frac{P_{M1}(t) + 172.4 \cdot \Theta_3}{2440} \right) \\ \Theta_2 = \frac{1}{\left(p + \frac{102}{3803}\right)} \left(\frac{P_{M2}(t) + 102 \cdot \Theta_3}{3803} \right) \\ \Theta_3 = \frac{1}{\left(p + \frac{382.2}{26350}\right)} \left(\frac{P_{M3}(t) + 102 \cdot \Theta_2 + 172.4 \cdot \Theta_1}{26350} \right) \end{cases} \quad (3.7)$$

Умови

- Двигун охолоджується примусово і охолодний потік не залежить від швидкості двигуна.

- охолодження двигуна залежить від швидкості

Залежність провідності сталі статора від швидкості має вигляд

$$\lambda_3 = \lambda_{3н} \frac{1 + 0.1v_3}{1 + 0.1v_{рот.н}} \quad (3.8)$$

- навантаження при законах регулювання залежить від закону регулювання та вибирається за характеристикою.

Для визначення температури, що встановилася, не враховуємо диференціальну складову рівняння (3.6), тоді система рівнянь набуде вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Theta_1 = \frac{P_{M1}(t) + 172.4 \cdot \Theta_3}{172.4} \\ \Theta_2 = \frac{P_{M2}(t) + 102 \cdot \Theta_3}{102} \\ \Theta_3 = \frac{P_{M3}(t) + 172.4 \cdot \Theta_1 + 102 \cdot \Theta_2}{382.2} \end{array} \right\} \quad (3.9)$$

Функціональна схема визначення потужності втрат у середовищі Mathlab представлена у Додатку В.

Функціональна схема визначення температури двигуна в середовищі Mathlab представлена в Додатку Г.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ В АД ПРИ ЖИВЛЕННІ ВІД ПЧ

4.1 Вплив зміни частоти на теплові процеси

Побудуємо графіки залежності перевищення температури частин машини (обмоток статора і ротора, сталі статора) від частоти напруги живлення: $T_1(f, t)$, $T_2(f, t)$, $T_3(f, t)$.

При цьому двигун охолоджується примусово (тобто тепловіддача з поверхні двигуна постійна і залежить від швидкості обертання двигуна), момент навантаження на валу постійний. Таблиця 4.1.

Двигун із самовентиляцією, тепловіддача з поверхні двигуна пов'язана залежністю (3.8), коефіцієнти та дані наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Залежність перевищення температури двигуна від частоти напруги живлення, при постійному моменті і примусовому охолодженні навантаження над навколишнім середовищем.

Частота	Температура обмотки статора, що встановилася, $^{\circ}\text{C}$ / Постійна часу, с	Температура обмотки ротора, що встановилася, $^{\circ}\text{C}$ / Постійна часу, с	Температура сталі статора, $^{\circ}\text{C}$ / Постійна часу, с	Момент навантаження $\text{H}\cdot\text{м}$
60	12.1/280	10.8/340	10.7/304	90
50	9.9/274	8.7/339	8.5/304	90
40	7.8/267	6.7/338	6.6/304	90
30	5.8/259	4.9/336	4.7/304	90
20	3.9/251	3.4/327	3.2/306	90
10	3.5/196	3.3/234	2.7/269	90

Таблиця 4.2 – Залежність перевищення температури двигуна від частоти напруги живлення, при постійному моменті і самовентиляції навантаження над навколишнім середовищем.

Частота	Температура обмотки статора, що встановилася., $^{\circ}\text{C}$ / Постійна часу, с	Температура обмотки ротора, що встановилася., $^{\circ}\text{C}$ / Постійна часу, с	Температура сталі статора, $^{\circ}\text{C}$ / Постійна часу, с	Момент навантаження $\text{H}^*\text{м}$	Коефіцієнт тепловіддачі%
60	9.1/198	7.8/258	7.7/221	90	1.1060
50	9.9/274	8.7/339	8.5/304	90	1
40	11.8/448	10.7/520	10.6/485	90	0.8940
30	20.3/1170	19.5/1249	19.2/1221	90	0.7880
20	∞	∞	∞	90	0.5759

Графіки температури сталі статора в залежності від частоти з примусовим охолодженням.

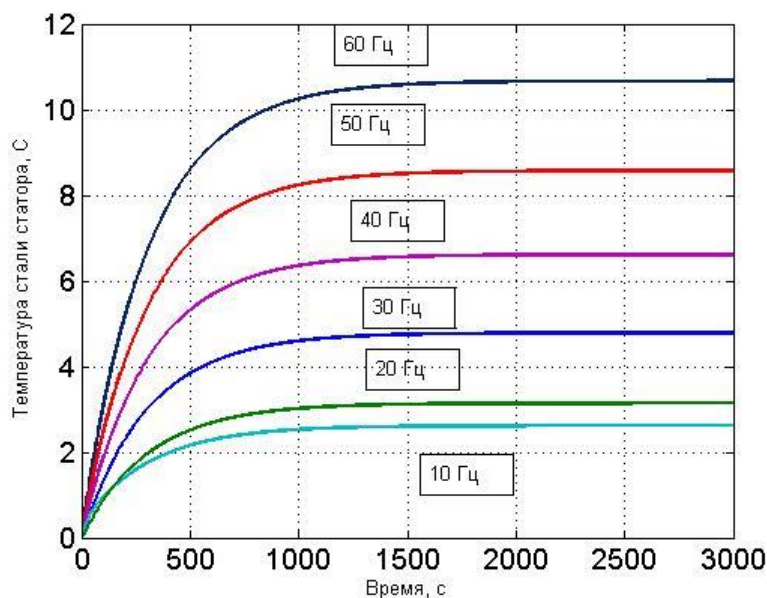


Рисунок 4.1 – Залежність перевищення температури сталі статора над довкіллям при постійному моменті та різних частотах

Графіки температури обмоток статора та ротора стали статора залежно від частоти з самовентиляцією..

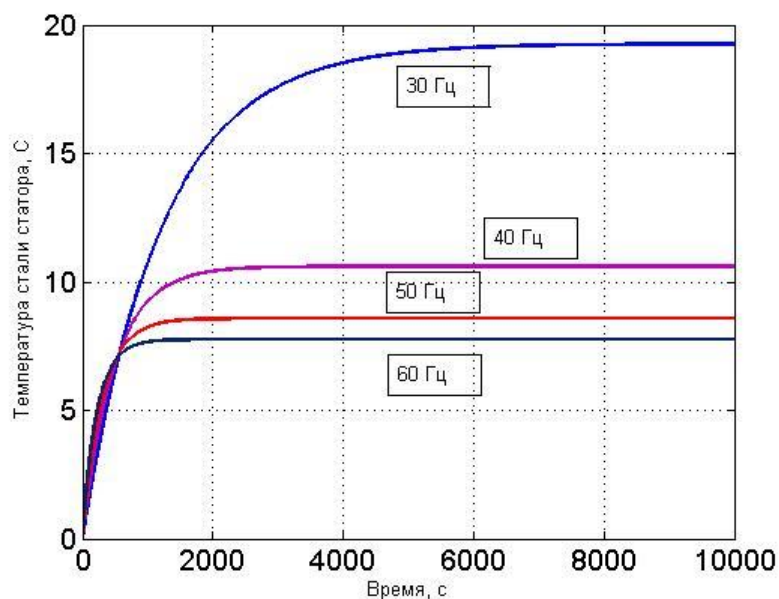


Рисунок 4.2 – Залежність перевищення температури сталі статора над довкіллям при постійному моменті та різних частотах

Побудуємо залежності температури частин машини від частоти

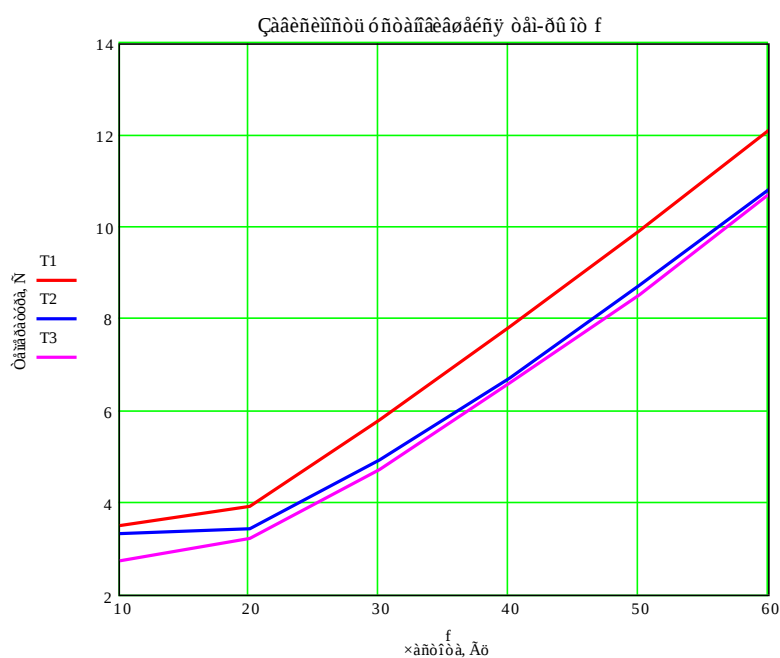


Рисунок 4.3 – Залежність перевищення температури частин двигуна від частоти напруги живлення при однаковому навантаженні для двигуна з примусовою вентиляцією.

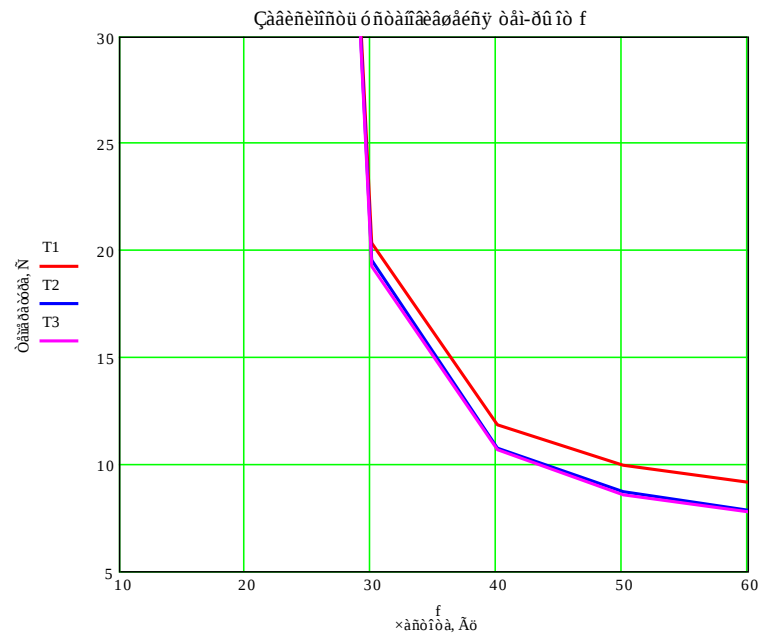


Рисунок 4.4 – Залежність перевищення температури частин двигуна від частоти напруги живлення при однаковому навантаженні для двигуна з самовентиляцією.

4.2 Вплив зміни частотного елемента на теплові процеси

Побудуємо графіки залежності перевищення температури сталі статора залежно від закону управління напруги живлення і частоти $T_3(f, t)$.

В таблиці 4.3 представлені дані по моменту навантаження для різних законів управління і залежності температури сталі, що встановилася, статора від частоти з примусовим обдуванням.

Таблиця 4.3 – Результати в випадку з примусовим обдуванням

Час тота	Температура сталі статора, C°/ постійна часу, с $\frac{U_\phi \cdot (f)}{f} = const$	Температура сталі статора, C°/ постійна часу, с $\frac{U_\phi \cdot (f)}{\sqrt{f}} = const$	Температура сталі статора, C°/ постійна часу, с $\frac{U_\phi \cdot (f)}{f^2} = const$	Момент навантаження H*м $\frac{U_\phi \cdot (f)}{f} = const$	Момент навантаження H*м $\frac{U_\phi \cdot (f)}{\sqrt{f}} = const$	Момент навантаження H*м $\frac{U_\phi \cdot (f)}{\sqrt{f}} = const$
60	11.32/304	10.8/304	12.9/	169	141	243
50	9.2/306	9.2/306	9.2/306	162	162	162
40	7.2/307	7.8/307	6.2/307	151	190	97
30	5.3/308	6.8/308	3.7/308	137	229	49
20	3.4/310	6.2/310	1.9/310	113	282	18

У таблиці 4.4 представлені дані по моменту навантаження для різних законів управління і залежності температури сталі, що встановилася, статора від частоти з самовентиляцією

Таблиця 4.4 – Результати в випадку з самовентиляцією

Час тота	Температура сталі статора, C°/ постійна часу, с $\frac{U_\phi \cdot (f)}{f} = const$	Температура сталі статора, C°/ постійна часу, с $\frac{U_\phi \cdot (f)}{\sqrt{f}} = const$	Температура сталі статора, C°/ постійна часу, с $\frac{U_\phi \cdot (f)}{f^2} = const$	Момент навантаження H*м $\frac{U_\phi \cdot (f)}{f} = const$	Момент навантаження H*м $\frac{U_\phi \cdot (f)}{\sqrt{f}} = const$	Момент навантаження H*м $\frac{U_\phi \cdot (f)}{\sqrt{f}} = const$
60	8.2/222	7.9/222	9.2/223	169	141	243
50	9.2/306	9.2/306	9.2/306	162	162	162
40	11.5/490	12.7/490	10/487	151	190	97
30	21.2/1220	27.5/1225	15.2/1220	137	229	49

20	∞	∞	∞	113	282	18
----	----------	----------	----------	-----	-----	----

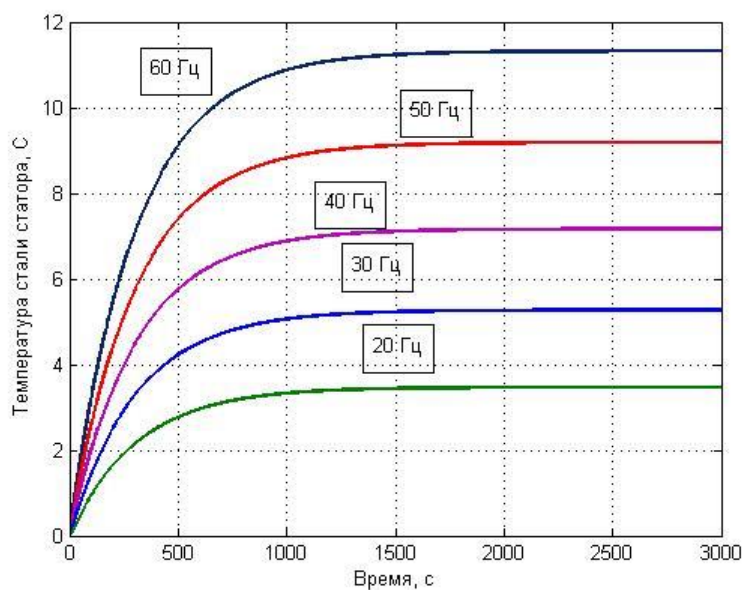


Рисунок 4.5 – Залежність перевищення температури сталі статора над довкіллям за закону управління $\frac{U_{\phi} \cdot (f)}{f} = const$ та різних частотах для двигуна з примусовою вентиляцією.

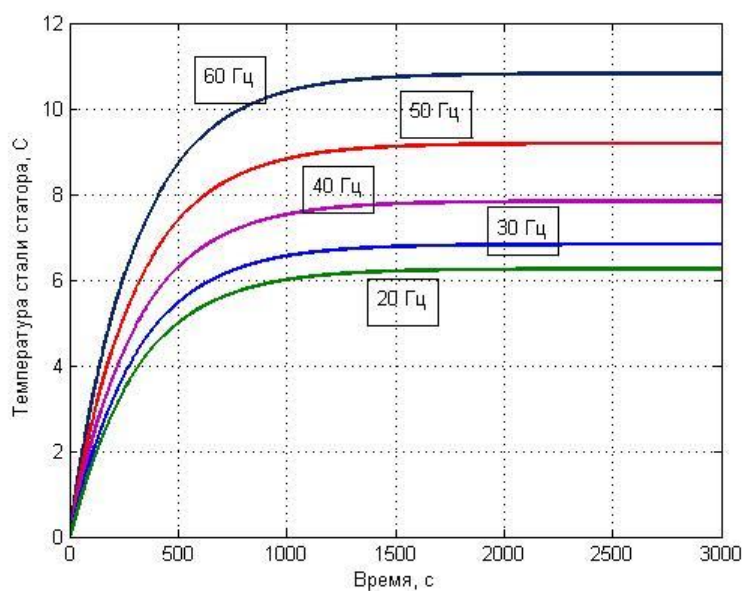


Рисунок 4.6 – Залежність перевищення температури сталі статора над довкіллям за закону управління $\frac{U_{\phi} \cdot (f)}{\sqrt{f}} = const$ та різних частотах для двигуна з примусовою вентиляцією.

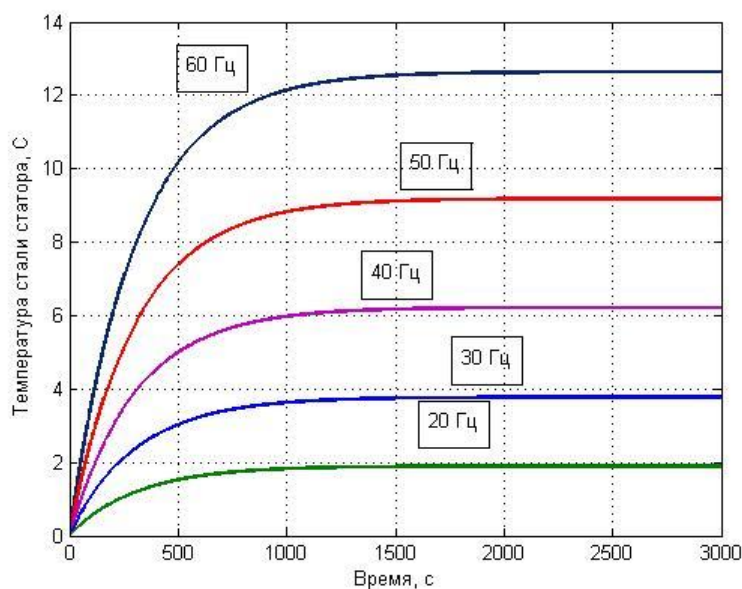


Рисунок 4.7 – Залежність перевищення температури сталі статора над довкіллям за закону управління $\frac{U_{\phi} \cdot (f)}{f^2} = const$ та різних частотах для двигуна з примусовою вентиляцією.

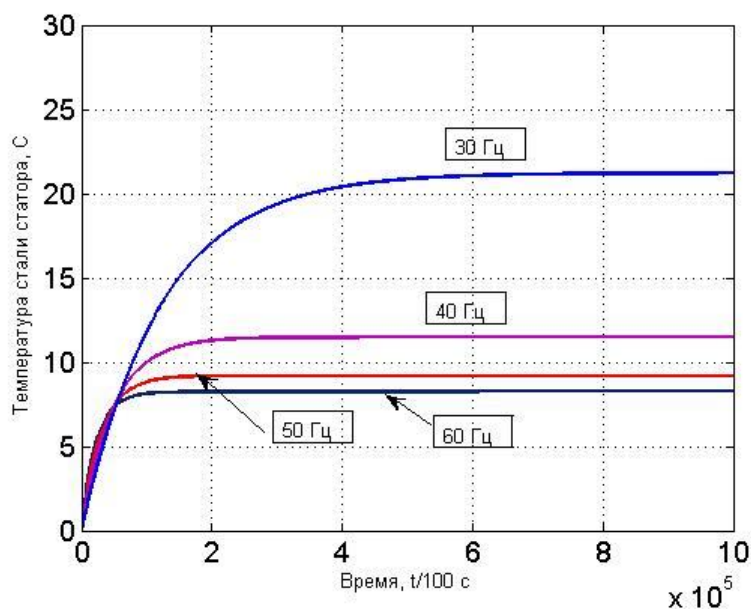


Рисунок 4.8 – Залежність перевищення температури сталі статора над довкіллям за закону управління $\frac{U_{\phi} \cdot (f)}{f} = const$ та різних частотах для двигуна із самовентиляцією.

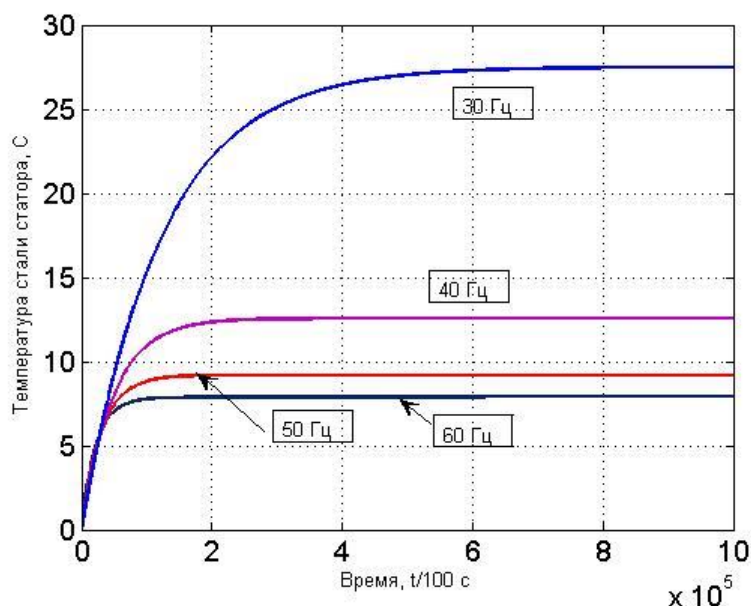


Рисунок 4.9 – Залежність перевищення температури сталі статора над довкіллям за закону управління $\frac{U_\phi \cdot (f)}{\sqrt{f}} = const$ та різних частотах для двигуна із самовентиляцією.

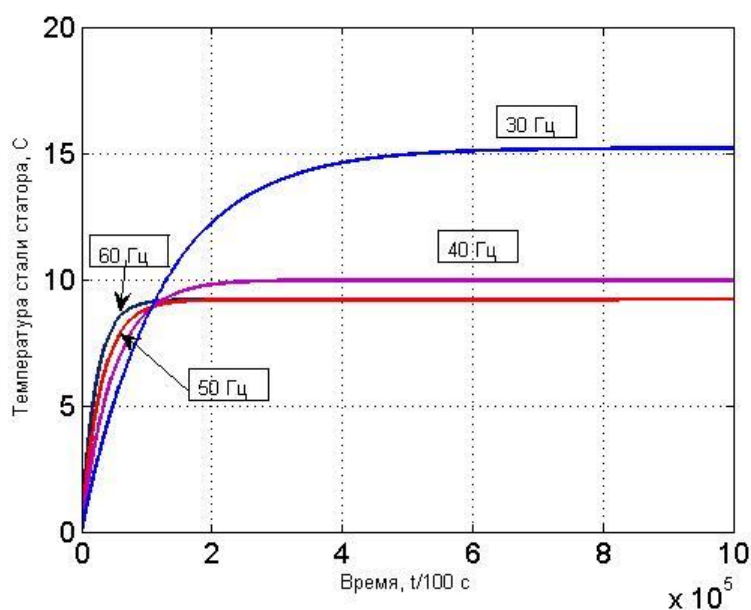


Рисунок 4.10 – Залежність перевищення температури сталі статора над довкіллям за закону управління $\frac{U_\phi \cdot (f)}{f^2} = const$ та різних частотах для двигуна із самовентиляцією.

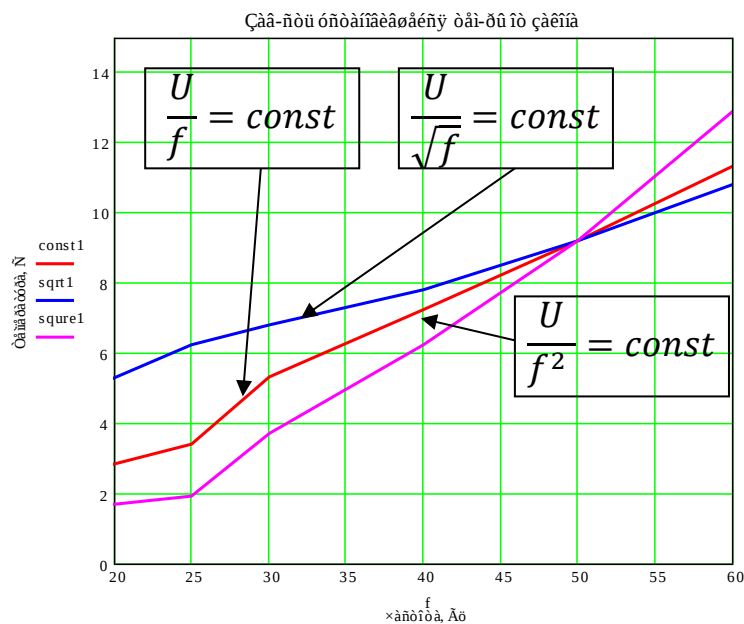


Рисунок 4.11 – Залежність перевищення температури сталі статора над навколишнім середовищем при трьох законах управління та різних частотах для двигуна з примусовою вентиляцією.

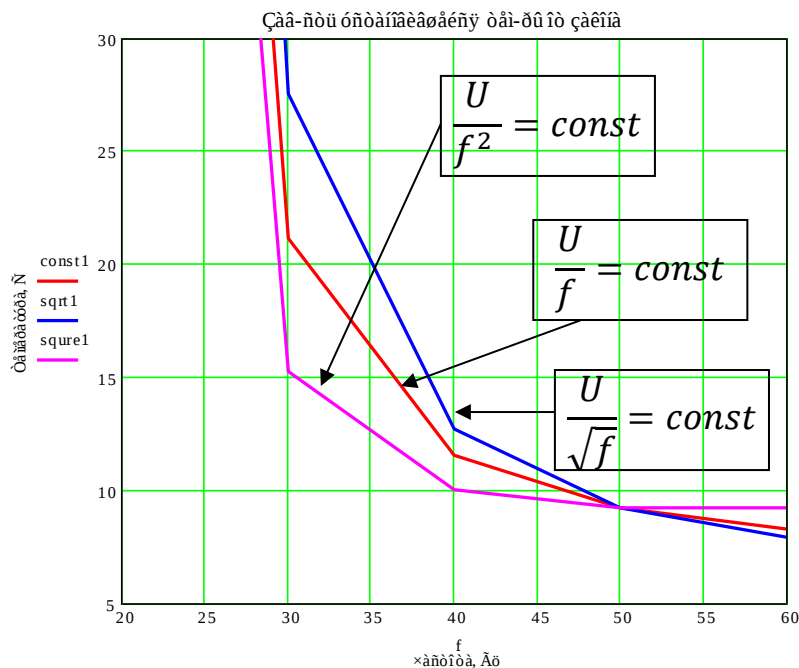


Рисунок 4.12 – Залежність перевищення температури сталі статора над навколишнім середовищем при трьох законах управління та різних частотах для двигуна із самовентиляцією.

4.3 Аналіз отриманих даних

Проаналізуємо режими нагріву при живленні двигуна від різної частоти та при управлінні за різними законами.

- у трьох-масовій тепловій моделі двигуна (обмотка статора, обмотка ротора, сталь статора) температура окремих частин двигуна відрізняється, причому, обмотка статора найбільш перегріта (у даній моделі не враховується теплопровідність пазової ізоляції, розсіювання тепла через сталь ротора та вал).

- температура, що встановилася для двигуна з самовентиляцією і з примусовим охолодженням при зміні частоти відрізняються значно.

1. Так при зміні частоти з примусовим охолодженням, потік тепла, що відводиться, вважаємо незмінним і рівним для номінальної частоти. При цьому втрати збільшуються із частотою за рахунок механічних втрат та втрат у сталі практично лінійно (рис. 4.3). Нелінійність характеристики після 20 Гц пов'язана з електричними втратами з обмотках при навантаженні двигуна.

2. Для двигуна із самовентиляцією (рис. 4.4) зміна температури від частоти має нелінійний характер. Це з зменшенням тепловідведення з поверхні двигуна (тобто. зменшується теплопровідність λ_3 сталі статора на коефіцієнт %). При граничній частоті (яка залежить за всіх інших однакових параметрів від навантаження двигуна (20-30 Гц)), відбувається постійне нагрівання двигуна, порушується баланс між тепловіддачею і нагріванням двигуна (рис 4.4 частота менше 30 Гц двигун переходить у режим неконтрольованого нагрівання).

- Зміна температури при різних законах регулювання в основному пов'язана з навантажувальною характеристикою механізму.

1. Для закону регулювання $\frac{U_\phi \cdot (f)}{f} = const$ при зміні частоти з примусовою вентиляцією момент навантаження незначно змінюється для різних частот

(таблиця 4.3). Зміна моменту пов'язана із втратами потужності в обмотках статора, при компенсації падіння напруги на статорі залежність буде лінійною.

2. Для закону регулювання при зміні частоти з примусовою вентиляцією момент змінюється за заданим законом, що веде до збільшення температури при низьких частотах (таблиця 4.3).

3. Для закону регулювання $\frac{U_{\phi} \cdot (f)}{f^2} = const$ при зміні частоти з примусовою вентиляцією момент змінюється за заданим законом, що веде до збільшення температури при високих частотах (таблиця 4.3).

- для двигунів із самовентиляцією ситуація аналогічна закону регулювання $\frac{U_{\phi} \cdot (f)}{f} = const$, тільки посилюється особливостями закону регулювання, при цьому гранична частота, при якій відбувається неконтрольоване нагрівання двигуна, збільшується.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Вступ

Метою управління охороною праці є забезпечення безпеки, збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці. Ця мета досягається виконанням відповідних функцій управління, тобто комплексом взаємопов'язаних видів, що здійснюються суб'єктом управління цілеспрямовано на об'єкт управління.

Об'єктом управління в системі управління охороною праці є діяльність функціональних служб і структурних підрозділів конкретних керівників та інженерно-технічних робітників підприємств із метою забезпечення безпечних, нешкідливих та сприятливих умов праці на робочих місцях, виробничих ланках, У цехах і на підприємстві в цілому.

Мета впровадження системи управління охороною праці (СУОП) — це всебічне сприяння виконанню вимог, які повністю ліквідують, нейтралізують або знижують до допустимих норм вплив на працюючих небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища, забезпечують усунення джерел небезпеки, ізолювання від них персоналу, використання засобів, що усувають небезпечні ситуації та підвищують технічну безпеку, створюють надійні санітарно-гігієнічні та ергономічні умови. СУОП передбачає встановлення конкретних кількісних показників діяльності виробничих підрозділів, підтримування котрих в заданих межах забезпечує досягнення основної мети щодо організації безпечних та нешкідливих умов праці.

Проблема створення безпечних і нешкідливих умов праці в Україні існувала завжди, про що свідчить статистика нещасних випадків: ще 10 років тому на виробництві щорічно травмувалося 125 000 працівників, з них гинуло майже 3000. Проте, справжній стан охорони праці та рівень виробничого травматизму на той час замовчувались. З цих причин багато важливих

невідкладних наукових і виробничих завдань з питань умов праці зовсім не вирішувалось.

Наслідками такого становища стали:

- відставання від світових досягнень на 15-20 років вітчизняної науки з питань охорони праці;
- зростання в 5-8 разів рівня виробничого травматизму порівняно з такими ж показниками в інших промислово-розвинених країнах;
- перевищення майже в 2 рази в розрахунку на одного працюючого виплат на пільги і компенсації за роботу в шкідливих умовах над витратами на профілактику нещасних випадків і професійних захворювань.

В 1992 р. Україна прийняла Закон “Про охорону праці”.

Цей закон визначив пріоритетні напрямки реалізації конституційного права громадян на охорону їхнього життя і здоров’я в процесі трудової діяльності, проголосив основні принципи державної політики в галузі охорони праці.

За роки, що минули з часу прийняття Закону, зроблено для реалізації цих принципів:

- створено Національну раду з питань безпечної життєдіяльності населення при Кабінеті Міністрів України. Вона розробляє та здійснює заходи щодо створення цілісної системи державного управління охороною життя людей на виробництві, організовує контроль за виконанням відповідних законодавчих актів і рішень Уряду України, координує діяльність центральних і місцевих органів виконавчої влади з цих проблем;
- створено Державний комітет по нагляду за охороною праці, якому передано від профспілок державний нагляд за дотриманням законодавства про охорону життя і здоров’я працівників в усьому народному господарстві, доручено комплексне управління охороною праці на державному рівні.

– у 1994-1995 рр. в Україні були розроблені і, в основному, виконані перші галузеві, регіональні і виробничі програми поліпшення стану умов, безпеки праці і виробничого середовища.

У теперішній час йде реалізація національної, галузевих та інших програм з охорони праці, розроблених до 2000 року.

Фінансування програм здійснювалось із спеціально створених відповідних фондів охорони праці. Такі фонди були запроваджені Законом “Про охорону праці” вперше. Зазначені фонди певною мірою стали економічною основою для поліпшення стану безпеки і гігієни праці.

Створено Національний науково-інформаційний навчальний центр охорони праці, виходить щомісячний науково-виробничий журнал “Охорона праці”. Завершується створення єдиної автоматизованої інформаційної системи охорони праці, яка спрямована на підвищення ефективності управління охороною праці в масштабі всієї країни.

Створюється національне законодавство про охорону праці. Здійснюється заходи щодо використання в ньому конвенцій і рекомендацій МОП, директив Європейського Союзу, налагоджується більш тісні контакти з питань нормотворчої діяльності з Росією, Німеччиною, Великобританією, іншими країнами.

Незадовільний стан охорони праці важким тягарем лягає на економіку підприємств, організацій, всієї держави. Щорічно майже 17 000 осіб стають інвалідами внаслідок травм і профзахворювань. Чисельність пенсіонерів по трудовому каліцтву торік перевищила 150 000, а пенсіонерів у зв'язку з втратою годувальника внаслідок нещасного випадку — 50 000 осіб. Загальна сума витрат на фінансування пільгових професійних пенсій і пенсії по трудовому каліцтву, відшкодування шкоди потерпілим на виробництві та інших витрат, пов'язання з цим, сьогодні становить від 10-15 відсотків фонду оплати праці в промисловості, а в окремих галузях і регіонах — від 15-30 відсотків.

Особливо гостро ці проблеми відчуються на підприємствах галузей з високим рівнем професійного ризику.

Викликає занепокоєння стан охорони праці та забезпечення соціальних гарантій на підприємствах недержавного сектору економіки, який все збільшується. Тут порушення правил безпеки носять масовий характер, допускається приховання нещасних випадків, свавілля роботодавців в додержанні тривалості робочого часу, відпочинку, ухилення від виплат і компенсацій за заподіяну шкоду від нещасних випадків.

5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на людину при розробці системи керування

В приміщенні, в якому передбачається розробка, виготовлення та випробування системи, можливе виникнення наступних небезпечних і шкідливих факторів:

- підвищена небезпека поразки електричним струмом;
- підвищена пожежна небезпека;
- шкідливе електромагнітне випромінювання;
- недостатнє освітлення.

Одним з найбільш розповсюджених небезпечних виробничих факторів є електричний струм. Дія електричного струму на живу тканину має різнобічний і своєрідний характер. Проходячи через організм людини, електрострум здійснює термічний, електролітичний, механічний і біологічний вплив.

Термічна дія струму проявляється опіками окремих ділянок тіла, нагріванням до високої температури органів, розташованих на шляху струму, викликаючи в них значні функціональні розлади. Електролітична дія виражається в розкладанні органічної рідини, у тому числі крові, у порушенні її фізико-хімічного складу. Механічна дія струму приводить до розшарування, розриву тканин організму в результаті електродинамічного ефекту, а також

миттєвого вибухоподібного утворення пари з рідини. Біологічна дія струму виявляється подразненням і порушенням живих тканин організму, а також порушенням внутрішніх біологічних процесів.

Допустимим вважається струм, при якому людина може самостійно звільнитися від електричного ланцюга. Його величина залежить від швидкості проходження струму через тіло людини: при тривалості дії більш 10 с - 2 мА, при 1 с менш - 6 мА. Струм, при якому потерпілий не може самостійно відірватися від струмоведучих частин називається струмом, що не відпускає, і складає 10...20 мА. Змінний струм небезпечніше постійного, при високій напрузі не безпечнішим є постійний струм.

Пожежі на обжитих людиною територіях, на підприємствах виникають у більшості випадків у зв'язку з порушенням технологічного режиму. Це, на жаль, часте явище і державою передбачені спеціальні документи, що описують основи протипожежного захисту. Це стандарти: ДСТ 12.1.004-76 "Пожежна безпека" і ДСТ 12.1.010-76 "Вибухобезпека".

Важливим фактором, що впливає на продуктивність праці, є освітленість робочого місця. Організація раціонального освітлення робочого місця - одне з основних питань охорони праці. При незадовільному освітленні різко знижується продуктивність праці, можливі нещасні випадки, поява короткозорості, швидка стомленість.

Освітлення виробничих приміщень – один з основних факторів зовнішнього виробничого середовища, що впливають на людину в її процесі праці. Безпечною і високопродуктивною праця може бути лише за умови гарного освітлення робочих місць.

Недостатнє і нерівномірне освітлення робочих місць призводить до перенапруги зору, перевтоми організму, до виникнення надмірної нервової дратівливості, ослаблення уваги. Доведено, що в половини працюючих у таких умовах спостерігаються дефекти зору – короткозорість, зниження гостроти зору й інше, а в 3,8% чоловіків виникає частковий дальтонізм.

Негативно впливає на зір не тільки недостатня освітленість, а й занадто яскраве освітлення. Перевищення норм яскравості веде до зниження функцій зору, викликає роздратування і різь в очах, головні болі.

Низькі рівні освітленості, нерівномірність освітлення, світлові промені, що б'ють в очі, відблиски від блискучих поверхонь можуть бути причиною нещасних випадків, браку продукції і низької продуктивності праці.

Використовується як природне, так і штучне освітлення виробничих приміщень. Природне освітлення характерне для світлого часу доби і при роботі в приміщеннях, де є прорізи в стінах і даху будинку. При штучному освітленні застосовуються відповідні освітлювальні установки штучного світла.

Система освітлення повинна забезпечити:

достатню освітленість і рівномірний розподіл світлового потоку на робочій поверхні;

сталість величини освітлення;

виключення глибоких тіней;

відсутність різкої різниці в яскравості робочих поверхонь і навколишнього фону (стіл, стелі);

відсутність сліпучої дії джерела світла великої яскравості.

Основним документом, який визначає необхідні норми освітленості робочих поверхонь, є діючі будівельні норми і правила ДБН В 2.5-28-2006.

5.2 Природне освітлення

Природне освітлення - це освітлення приміщень світлом неба (прямим чи відбитим), що проникає крізь світлові прорізи в зовнішніх огорожувальних конструкціях.

Усі виробничі приміщення повинні мати світлові прорізи, що дають достатнє природне освітлення. Без природного освітлення допускається

проекувати конференц-зали, виставочні зали, кіно сховища й архіви, підприємства побутового обслуговування населення, комори, коридори тощо.

Залежно від напрямку проникання світла в приміщення природне освітлення буває бокове – крізь світлові прорізи, верхнє — крізь спеціальні ліхтарі і світлові прорізи в стелі і комбіноване — крізь світлові прорізи і ліхтарі на стелі.

Бокове освітлення буває одностороннім (світлові прорізи в одній із зовнішніх стін приміщень) і двостороннім (світлові прорізи в двох протилежних зовнішніх стінах приміщення).

Природне освітлення характеризується тим, що утворювальна освітленість постійно змінюється і залежить від часу дня, року. Як нормовану величину для природного освітлення прийнято відносну величину – коефіцієнт природної освітленості (КПО).

5.3 Штучне освітлення

Штучне освітлення – освітлення приміщень штучним світлом за допомогою електричних ламп - газорозрядних чи розжарювання.

За конструктивним виконанням штучне освітлення може бути трьох систем - загальне, місцеве і комбіноване.

Загальне – освітлення, при якому світильники розміщуються у передній зоні приміщення рівномірно (загальне рівномірне освітлення), або стосовно до розташування устаткування (загальне локалізоване освітлення).

Місьцеве – освітлення, додаткове до загального, створюване світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях. Місьцеве освітлення приймається лише разом із загальним освітленням.

Комбіноване – освітлення, при якому до загального освітлення додається міссьцеве.

За функціональним призначенням штучне освітлення ділиться на робоче, аварійне, охоронне і чергове.

Робоче освітлення призначене для забезпечення нормальних зорових умов при виконанні робіт, проходу людей і руху транспорту. Воно забезпечує нормовані характеристики (освітленість, яскравість освітлення) у приміщеннях і місцях провадження робіт поза будинками. Для приміщень, що мають зони з різними умовами природного освітлення і зони різних режимів роботи влаштовується роздільне керування освітленням таких зон.

Аварійне освітлення поділяється на освітлення безпеки, застосовуване для продовження роботи, і евакуаційне — для евакуації з приміщення при аварійному відключенні робочого освітлення. Світильники систем аварійного освітлення підключаються до мережі, незалежно від робочого освітлення, починаючи від щита підстанції.

Чергове освітлення призначене для приміщень, а охоронне — для освітлення площадок підприємства, що охороняються в неробочий час, який збігається з темним часом доби. Для чергового освітлення виділяють частину світильників робочого чи аварійного освітлення, які забезпечують мінімальну освітленість для несення чергувань і охорони.

Джерела штучного світла:

- лампа розжарювання ЛР – лампа загального призначення;
- газорозрядні лампи високого і низького тиску;
- люмінесцентні (ЛЛ) – ГЛ низького тиску використовують для освітлення приміщень з опаленням;
- дугова ртутна люмінесцентна лампа (ДРЛ) – газорозрядна лампа високого тиску, застосовують для освітлення територій підприємств, населених пунктів виробничі приміщення великої висоти $H > 12\text{м}$;
- металеві-галогенові лампи (МГЛ). Використовують для освітлення територій, а також внутрішніх приміщень з роботами, пов'язаними з великим освітленням(зборка радіоапаратури);

- натрієві лампи високого тиску(НЛВТ)застосовують для освітлення приміщень, де виконуються роботи грубіш 5-го розряду зорової напруги;
- світлодіодні лампи.

Методи розрахунку штучного освітлення:

– метод коефіцієнта використання світлового потоку. Призначений для розрахунку загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь при відсутності затіняючи предметів з урахуванням світла, відбитим стінами та стелею;

– точений метод;

– метод питомої потужності (при приблизних розрахунках).

Робоче освітлення призначене для забезпечення нормальних зорових умов при виконанні робіт, проходу людей і руху транспорту. Воно забезпечує нормовані характеристики (освітленість, яскравість освітлення) у приміщеннях і місцях провадження робіт поза будинками.

5.4 Розрахунок штучного освітлення

У приміщенні необхідно організувати змішане освітлення, тобто сполучення природного і штучного освітлення. Природне освітлення створюється бічним освітленням через вікно. Штучне освітлення використовується при недостатньому природному освітленні. У даному приміщенні використовується загальне штучне освітлення.

Розрахунок його здійснюється по методу світлового потоку з урахування потоку, відбитого від стін і стелі.

Потрібно зробити розрахунок загального освітлення приміщення для виготовлення та випробування системи. Довжина $A = 18$ м, ширина $B = 12$ м, висота $H = 3.5$ м. Висота робочої поверхні $h_p = 1$ м. Напруга мережі 220 В.

Загальна схема приміщення зображена на рис. 5.1.

H_0 – відстань від стелі до робочої поверхні;

H – висота приміщення (відстань від полу до стелі);

H_n – висота світильника над підлогою;

h_p – робоча висота;

h_c – відстань від стелі до світильника;

h – висота від світильника до робочої поверхні.

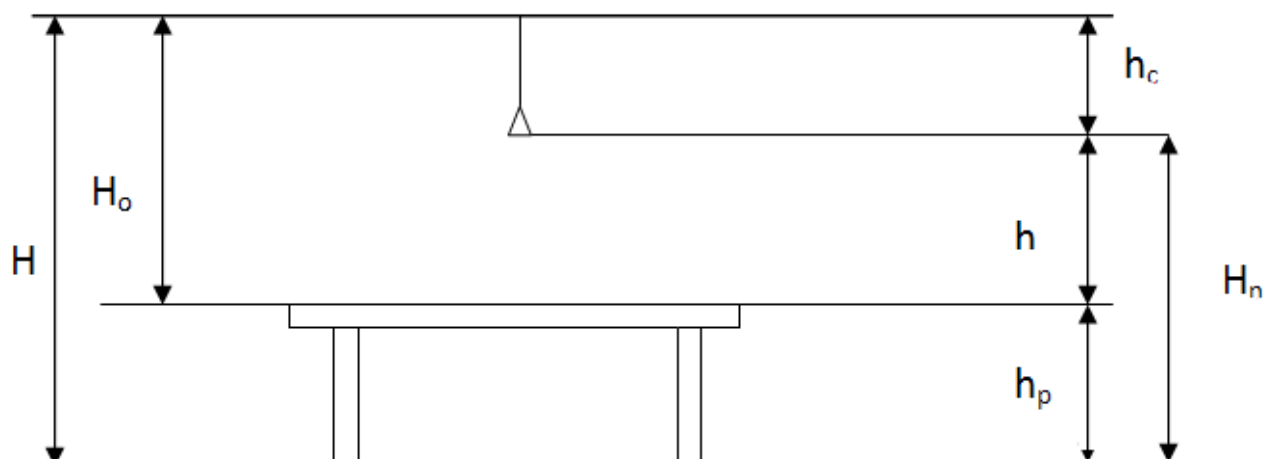


Рисунок 5.1 – Схема розміщення світильника у приміщенні

Знайдемо відстань від стелі до робочої поверхні:

$$H_0 = H - h_p, \quad (5.1)$$

$$H_0 = 3,5 - 1 = 2,5 \text{ м}. \quad (5.2)$$

Знайдемо відстань від підлоги до світильника:

$$h_c = (0,2 \dots 0,25) H_0, \quad (5.3)$$

$$h_c = 0,2 \times 2,5 = 0,5 \text{ м} \quad (5.4)$$

Знайдемо відстань між світильником і робочою поверхнею:

$$h = H_0 - h_c, \quad (5.5)$$

$$h = 2,5 - 0,5 = 2 \text{ м.} \quad (5.6)$$

Знайдемо висоту підвіса світильника над підлогою:

$$H_n = h + h_p, \quad (5.7)$$

$$H_n = 2 + 1 = 3 \text{ м} \quad (5.8)$$

Висота знаходиться в рамках норми.

Для досягнення найбільшої рівномірності освітлення приймаємо відношення:

$$\frac{L}{h} = 1,5 \quad (5.9)$$

де L – відстань між центрами світильників.

Тоді:

$$L = 1,5h, \quad (5.10)$$

$$L = 1,5 \times 2 = 3 \text{ м.} \quad (5.11)$$

Необхідна кількість світильників N :

$$N = \frac{S}{L^2}, \quad (5.12)$$

$$S = A \cdot B, \quad (5.13)$$

$$N = (18 \cdot 12) / 3^2 \text{ св.} \quad (5.14)$$

Розташування світильників зображено на рис. 13.

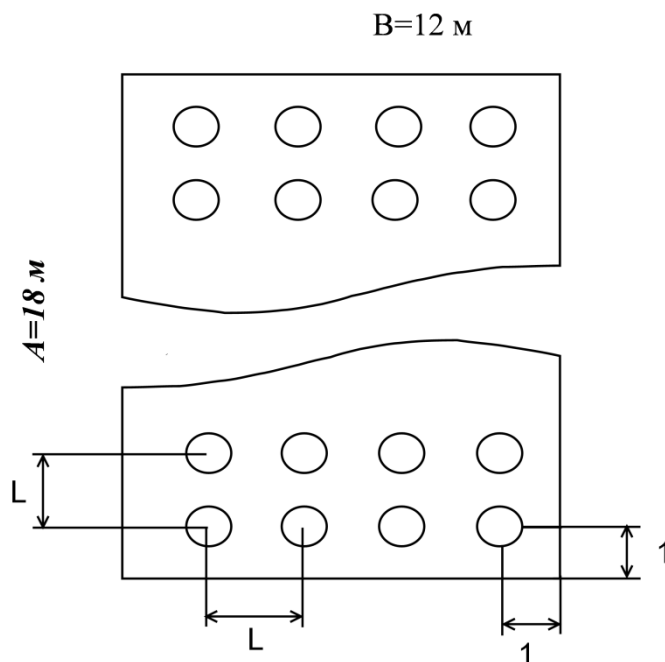


Рисунок 5.2 – Розташування світильників в приміщенні

Визначимо необхідну кількість рядів:

$$n_p = \frac{B}{L} \quad (5.15)$$

$$n_p = \frac{12}{3} = 4. \quad (5.16)$$

Визначимо кількість світильників в 1 ряду:

$$\frac{N}{n_p} = \frac{24}{4} = 6. \quad (5.17)$$

Приймаємо 6 світильників і робимо перевірку:

$$5L = 5 \cdot 3 = 15 < A = 18\text{ м}, \quad (5.18)$$

$$4 \cdot 6 = 24 \text{ св.} \quad (5.20)$$

Приймаємо 24 світильника в 4 ряди по 6 світильників в ряду.

Знайдемо відстань від центру світильника до стіни.

При розміщенні робочої зони уздовж стіни:

$$l = (0,4 \dots 0,5) L, \quad (5.21)$$

$$l = 0,5 \times 3 = 1,5 \text{ м.} \quad (5.22)$$

При віддаленні робочих місць від стіни:

Перевірка:

$$\frac{12-9}{2} = 1,5 \text{ м та } \frac{18-15}{2} = 1,5 \text{ м.} \quad (5.23)$$

Знаходимо індекс приміщення:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)}, \quad (5.24)$$

$$i = \frac{12 \times 18}{2(12+18)} = 3,6 \quad (5.25)$$

По таблиці знаходимо коефіцієнти відбиття стелі, стін та робочої поверхні при $i=3,6$:

$$\rho_n = 70\%; \quad (5.26)$$

$$\rho_c = 50\%; \quad (5.27)$$

$$\rho_p = 30\%. \quad (5.28)$$

Для світильника типу «Астра» знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta=0.75$.

Світловий потік 1-ї лампи:

$$\Phi = \frac{E_{\min} S K_3 Z}{N \eta}, \quad (5.29)$$

$$\Phi = \frac{200 \cdot 216 \cdot 1.5 \cdot 1.15}{24 \cdot 0.75} = 4140 \text{ Лм}, \quad (5.30)$$

де $E_{\min} = 200 \text{ лк}$ – нормоване освітлення; $k_3 = (1,5 \dots 2) = 1,5$ – коефіцієнт запасу, який враховує різницю по відношенню із запланованими внаслідок забруднення стелі, стін, світильників і ламп, а також зменшення світлового потоку ламп в процесі експлуатації; $Z = 1,15$ – коефіцієнт мінімального освітлення для лампи розжарювання, враховує нерівномірність освітлення і залежить від відношення відстані між світильниками і їх типу; N – кількість світильників.

По знайденому світловому потоку вибираємо металогалогенну лампу OSRAM HCL-E/P 50/830 WDL PB потужністю 50 Вт, яка має світловий потік 4000 лм – найбільш близький до розрахункового.

Фактична освітленість:

$$E_{\phi} = E_n \frac{\Phi_{\lambda}}{\Phi_p} = 200 \frac{4000}{4140} = 193,24 \text{ лк}. \quad (5.31)$$

E_{ϕ} не відрізняється від E_n (-10%)-(+20%).

Загальна потужність установки освітлення:

$$P_3 = P_{\lambda} \times N \times n = 50 \times 24 \times 1 = 1200 \text{ Вт} = 1,2 \text{ кВт}. \quad (5.32)$$

5.5 Заходи щодо техніки безпеки

Забезпечення електробезпеки. Електробезпека забезпечується відповідною конструкцією електроустаткування, застосуванням технічних засобів захисту, організаційними і технічними заходами.

Конструкція електроустаткування повинна відповідати умовам його експлуатації, забезпечувати захист персоналу від зіткнення зі струмоведучими частинами й устаткуванням – від влучення усередину сторонніх предметів і води.

Організаційні і технічні заходи щодо забезпечення електробезпечності полягають в основному у відповідному навчанні, інструктажі і допуску до роботи людей, що пройшли медичний огляд, виконанні ряду технічних заходів при проведенні робіт з електроустаткуванням, дотриманні особливих вимог при роботі з частинами, що знаходяться під напругою.

Заходи щодо пожежної безпеки

Заходи щодо пожежної профілактики розділяються на організаційні, технічні, режимні й експлуатаційні.

Організаційні заходи передбачають правильну експлуатацію машин і внутрішньозаводського транспорту, правильний зміст будинків, території, протипожежний інструктаж робітників та службовців, організацію добровільних пожежних дружин, пожежно-технічних комісій, видання наказів по питаннях посилення пожежної безпеки та ін.

До технічних заходів відносяться дотримання протипожежних правил, норм при проектуванні будинків, встановленні електропроводів і устаткування, опалення, вентиляції, освітлення, правил розміщення устаткування.

Заходи режимного характеру – це заборона паління в невстановлених місцях, проведення зварювальних і інших вогневих робіт у пожежно небезпечних приміщеннях та ін.

Експлуатаційними заходами є своєчасні профілактичні огляди, ремонти й випробування технологічного устаткування.

Заходи щодо техніки безпеки при роботі на ПЕОМ

Рекомендації при роботі на ПК:

- необхідно дотримуватися часових обмежень щодо роботи з ПК для людей, які страждають захворюваннями опорно-рухового апарату, очей, шкіри, а також вагітних жінок;

- надавати перевагу використанню дисплеїв з високою роздільною здатністю та раціональним розміром екрана (15 дюймів і більше);

- краще вибирати відеоадаптери з високим дозволом і частотою оновлення екранного зображення (регенерація) не менше 72 Гц, а краще – 85 Гц і вище;

- обов'язково ставити на незахищений дисплей екранні поляризаційні фільтри, які зменшують шкідливе електромагнітне та ультрафіолетове випромінювання, роблять мерехтіння менш помітним;

- сидіти не ближче 70 см від дисплея;

- при розміщенні робочого місця поряд із вікном кут між екраном дисплея і площиною вікна повинен становити не менше 90 градусів (для виключення блимаць), ближню частину вікна бажано зашторити;

- не слід розміщувати дисплей безпосередньо під джерелом освітлення чи поряд із ним;

- освітленість робочого місця не повинна перевищувати 2/3 нормальної освітленості приміщення;

- при розміщенні в кімнаті декількох ПК відстань між ними повинна складати не менше 1.2;

- робоче місце повинно бути обладнано так, щоб виключити незручні пози і довгочасні статичні напруження тіла;

- загальний час роботи з ПК не повинен перевищувати 50% усього робочого часу, тобто не більше 4 годин на день для дорослих і 2 години для дітей;

- при роботі з ПК необхідно робити 15-хвилинні перерви через кожних 2 години, а при інтенсивній роботі – через 1 годину і навидь півгодини;

- під час роботи на ПК необхідно слідкувати, щоб лінія руки в області зап'ястя залишалась прямою, зап'ястя були розслаблені, а пальці трохи зігнуті; не напружуйте руки, зігніть їх у ліктях приблизно під прямим кутом; слідкуйте, щоб удари по клавішах були не занадто сильними;

- підлокітники робочого місця повинні бути опорою для рук як при роботі з клавіатурою, так і користуванні;

- при виникненні напруження або спазмів у м'язах слід припинити роботу і зробити декілька вправ для розслаблення;

- необхідно відрегулюйте висоту стільця так, щоб стегна розміщувалися паралельно підлозі, а ноги – твердо стояли на ній;

- під час роботи слід сидіти прямо чи нахилити корпус вперед, намагаючись зберегти природній згин тіла в поясниці; не сутультесь і не зводьте плечі; щоб не втомлювалась шия, не нахилийте голову; верхній край монітора при цьому повинен знаходитися на рівні очей;

- необхідно регулярно робити вправи для очей;

- поверхня стола, клавіатури і корпуси ПК повинні бути одного кольору;

- якщо можливо, з дисплеєм необхідно працювати в режимі „темні символи на світлому фоні”;

- у приміщенні, де встановлено ПК, необхідно підтримувати відносну вологість повітря не нижче 40% з метою зменшення шкідливого впливу електростатичного поля;

- рекомендується відсунути все обладнання ПК на 60-90 см від робочого місця;

Висновок

В результаті виконання цієї частини магістерської роботи було спроектовано систему освітлення приміщення та надані рекомендації щодо захисту від шкідливих наслідків при розробці системи, забезпечення електробезпеки та безпеки від електромагнітного випромінювання.

При проектуванні освітлення була обрана система загального освітлення. В процесі розрахунку була розрахована освітленість на робочих місцях та обрана система освітлення із лампами OSRAM HCI-E/P 50/830 WDL PB, їх необхідно встановити в 4 ряди по 6 світильників в ряду. Загальна потужність усіх світильників складає 1,2 кВт.

6 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Вступ

Охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини - невід'ємна умова сталого економічного та соціального розвитку України.

З цією метою Україна здійснює на своїй території екологічну політику, спрямовану на збереження безпечного для існування живої і неживої природи навколишнього середовища, захисту життя і здоров'я населення від негативного впливу, зумовленого забрудненням навколишнього природного середовища, досягнення гармонійної взаємодії суспільства і природи, охорону, раціональне використання і відтворення природних ресурсів. Закон України “Про охорону навколишнього середовища”, прийнятий у липні 1991 р. і спрямований на регулювання відносин у галузі охорони, використання, оновлення природних ресурсів.

Він є базовим і складається з 15 розділів:

- загальні положення;
- екологічні права й обов'язки громадян;
- права рад народних депутатів у галузі охорони навколишнього середовища;
- повноваження органів управління у галузі охорони навколишнього середовища;
- спостереження, прогнозування, облік інформації у галузі охорони навколишнього середовища;
- екологічна експертиза;
- стандартизація і нормування;
- регулювання використання природних ресурсів;

- економічний механізм забезпечення охорони навколишнього середовища;
- заходи по забезпеченню охорони навколишнього середовища;
- природні території;
- критичні екологічні ситуації;
- вирішення спорів у галузі охорони навколишнього середовища;
- відповідальність за порушення закону;
- міжнародні відносини України в галузі охорони навколишнього середовища.

Згідно з Законом з 1991 р. уведена плата за викиди, що економічно стимулює проведення природоохоронних заходів. У жовтні 1992 р. набув чинності Закон України “Про охорону атмосферного повітря”, розроблений відповідно до Закону України “Про охорону навколишнього середовища” та інших актів законодавства України.

Також Україна бере участь у міжнародному співробітництві в галузі охорони атмосферного повітря згідно з законодавством України і міжнародними угодами, ратифікованими Україною. Питання охорони навколишнього середовища в останнє десятиліття вийшло в число найважливіших, які необхідно вирішити у найближчий час. Результати численних досліджень показали, що нераціональне використання природних ресурсів, не переробка відходів створили небезпеку необернених процесів у біосфері, гідросфері й атмосфері.

Із розвитком міст, промисловості, транспорту і сільського господарства в ріки і прибережні води морів стала надходити така кількість відходів, яка може призвести до екологічних катастроф. Щоб зупинити ці процеси, підписані Міжнародні угоди, вводяться обмеження на викиди, замінюються технології, шукаються нові джерела чистої енергії.

В Україні створена партія Зелених, яка в останні кілька років сильно активізувала процес захисту навколишнього середовища, але через важкий економічний стан в країні дотримання норм і вимог неможливе, оскільки

застосовуються “давні” технології, а їх заміна вимагає великих капітальних вкладень.

Експлуатація водного транспорту спричиняє забруднення стічними водами, сухим сміттям, харчовими відходами, а також нафтопродуктами при аварійних розливах, очищенні танків. Також заподіюється шкода біології моря під час переміщення вод із одних районів в інші в якості баласту.

Поряд із цим великої шкоди навколишньому середовищу завдають відпрацьовані гази ДВЗ, в яких містяться сажа і компоненти згорання палива: NO_x , CO_2 , SO_3 і ін. Накопичено досвід по створенню й експлуатації спеціальних судових пристроїв для знищення й нейтралізації різноманітних видів викидів і відходів.

6.1 Забруднення нафтоутримуючими водами

Нафтоутримуючі води (НВ) – води, що містять залишки нафти, після забруднення вантажних танків і мийки відкритих частин палуб (в основному вантажних) і залишки палива й масла у виді протічок із трубопроводів і механізмів, мийки палуб у машинному відділенні.

Відповідно до вимог Міжнародної морської організації (ІМО), вміст нафтопродуктів у трюмних і л’яльних водах, які викидають за борт допускається не менш 15 мг/л. Миттєва інтенсивність скидання нафтопродуктів при русі судна 15 мг/л. Миттєва інтенсивність скидання не повинна перевищувати 60 літрів на одну милю.

Вимоги Регістра по запобіганню забруднення навколишнього середовища:

- наявність відстійних танків і цистерн;
- наявність нафтоводяного сепараторного устаткування з очисною здатністю до 15 мг/л;

– наявність швидкозапорної арматури, що забезпечує переключення потоку усмоктуваних вод у напрямку «за борт» - «відстійний танк», при підвищенні вмісту нафти у воді більш 15 мг/л.

6.2 Методи очищення нафтоутримуючих вод

Відстоювання – найбільш простий спосіб очищення НВ, що ґрунтується на здібності часток нафтопродуктів спливати на поверхню води за рахунок різниці густини. Цей спосіб дозволяє витягати з НВ, практично всі грубодисперсні частки нафтопродуктів.

Коалесценція – метод, що ґрунтується на укрупненні часток нафтопродуктів через проходженні НВ, через коалісцируючі елементи. Частки нафтопродуктів при проходженні коалісцируючих елементів, знижують свою швидкість і осаджуються в них.

Флотація – витяг нафтопродуктів із НВ, бульбашками повітря. Частки нафтопродуктів з'єднуються з бульбашками повітря і спливають на поверхню.

Озонування – спосіб глибокого очищення, що використовується для видалення з НВ, емульгированих і розчинених нафтопродуктів. Крім того, при озонуванні відбувається знезаражування і знебарвлення води, а також, насичення її киснем.

Біохімічне очищення – спосіб заснований на здатності мікроорганізмів у процесі своєї життєдіяльності, використовувати нафтопродукти для свого розвитку.

Основні характеристики методів очищення НВ приведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Характеристики методів очищення НВ

Спосіб очищення	Концентрація нафтопродуктів, що	Кінцева концентрація нафтопродуктів, мг/л
-----------------	---------------------------------	---

Відстоювання	1000	40...100
Флотація	200	20...60
Коалесценція	100	10...15
Абсорбція	100	1...5
Озонування	50	1...5
Біохімічний	100	1...10

Далі розглянемо основні типи установок очистки нафтоутримуючих вод:

– установка “Фрам” (Голландія). Установка триступеневої очистки, яка працює за схемою коалесценція - відстоювання - коалесценція. Перевагою установки “Фрам” перед іншими установками, які поєднують лише два способи очистки (коалесценція і відстоювання) є застосування коалесцируючого елемента перед відстійним сепаратором, що дозволяє більш ефективно проводити відстоювання за рахунок укрупнених часток нафтопродуктів. Ступінь очистки 10...15 мг/л;

– установка “Фрамарін” (Голландія). Принципова схема установки “Фрамарін” включає очистку відстоюванням та коалесценцією. В установці використовуються ті ж самі методи, що і в установці “Фрам”, але застосовані гофровані пластини для відстійника та здвоєний коалесцируючий фільтр, що дозволяє підвищити ефективність очистки. Недоліком цієї установки є нездатність вилучати з НВ емульгованих нафтопродуктів дрібнодисперсних елементів, а також відділяє плівкові нафтопродукти;

– установка “Аквамарін” (Швеція). Принципова схема установки “Аквамарін” включає очистку відстоюванням, коалесценцією та адсорбцією. Установка дозволяє вилучати емульговані елементи. Ступінь очистки 10 мг/л;

– сепаратор СК-4М з доочистним фільтром ФДН - 4М. Принципова схема установки включає очистку коалесценцією та адсорбцією. Установка

дозволяє вилучати емульговані елементи. Ступінь очистки 15 мг/л. Скидання л'яльних вод, які очищені у сепараторі, проводиться через отвір, який контролюється за допомогою системи контролю нафтоутримання у зливаємих за борт водах. При перевищенні норми вмісту у зливаємії за борт воді автоматично закривається клапан на відливі і відкривається клапан у цистерну л'яльних вод.

6.3 Забруднення стічними водами

При використанні води для питних та господарських потреб, на судні накопичуються стічні води (СВ). Проблема видалення стічних вод виникла давно, але до недавнього часу вона вирішувалася досить просто - скиданням СВ за борт без будь-якої обробки.

На даний час існують наступні контрольні показники, за якими можливо прямо і побічно судити о ступіні забруднення СВ:

- ПБК-5 - біохімічна необхідність у кисні на протязі 5 діб. З підвищенням змісту органічних речовин у СВ, значення БПК-5 зростає, що приводить до додаткових витрат кисню на окислювання органічних речовин і, отже, до зменшення змісту кисню у водоймі;
- ВВ - кількість зважених речовин, що містяться в 1л СВ. Перевищення вмісту ВВ, що скидаються у СВ, веде до замутнення води, що в підсумку приводить до порушення «харчового ланцюжка» водойма;
- індекс «Колі» - кількість бактерій груп «колі» (кишкова паличка), що міститься в одному літрі СВ ;
- РН - водневий показник, що характеризує кількість іонів водню в розчині;
- прозорість - дозволяє непрямым шляхом оцінювати ступінь забруднення СВ.

Відповідно до Конвенції «МАРПОЛ - 73/78», у прибережній зоні шириною 12 морських миль, заборонене скидання стічних вод. якщо вони

попередньо не очищені і не знезаражені в спеціальній судновій установці, до наступних параметрів приведених в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Допустимі параметри стічних вод

Параметр	Допустима норма
БПК-5, мг/л	50
ВВ, мг/л	100
Колі - індекс, шт.л	2500

За межами 12 мильної зони, скидання СВ дозволене без попередньої обробки в будь-якому басейні, але при цьому, судно повинне рухатися зі швидкістю не менше 4 вузлів.

Судно може скидати здрібнені і знезаражені СВ, на відстані більш 4 морських миль, від найближчого берега, використовуючи систему, схвалену Регістром. Стік не повинен давати видимих твердих плаваючих часток, і не повинний викликати зміну кольору навколишньої води.

6.4 Забруднення сміттям

Конвенція МАРПОЛ 73/78, включає правила запобігання забруднення водойм сміттям із суден. При цьому, під терміном «сміття», приймаються усі види харчових, побутових чи експлуатаційних відходів, що утворюються в процесі нормальної експлуатації судна, за винятком речовин, перелік яких приведений в інших додатках Конвенції.

Конвенцією передбачені наступні обмеження по скиданню сміття із суден:

– забороняється скидання в море усіх видів пластмас, включаючи синтетичні троси, мережі, пластмасові мішки для сміття;

- за межами 12-ти мильної зони, можна скидати сміття, пропущене через роздрібнювач, якщо шматки розмеленого сміття не більш 25мм;
- в особливих районах забороняється скидати будь-які види сміття, крім харчових відходів, які можна скидати за межами 12 - ти мильної зони.

6.5 Установка ЕОС-5

На рис. 6.1 представлена принципова схема установки ЕОС-5, дообладнана дехлоратором. Стічна вода по трубопроводах 2 стічної системи судна надходить на конусний віддільник (фільтр) 3, на якому затримуються великі забруднення (папір, ганчірки й т.п.) СВ. Пройшовши крізь ґрати, через вирву 5 по трубопроводу 7 СВ направляється в усереднювачну ємність 21, де накопичується до певного рівня.

Ґрати 3 очищаються при періодичному автоматичному включенні електродвигуна 1, що надає сітці обертання близько 1000 об/хв. Крім того, забруднення віддаляються при промиванні ґрат водою, що подається від гідрофора забортної води через перфоровану трубу 4. Забруднення, скинуті з ґрат і виділені з очищеної води, накопичується в ємності 8, звідки періодично віддаляються в суднову збірну цистерну насосом 10 і дробаркою 9. Через ґрати 6, врізані в бічну стінку ємності 8, вода перетікає в усереднювачну ємність 21. Завдяки цьому обсяг шламу, що накопичується, зменшується.

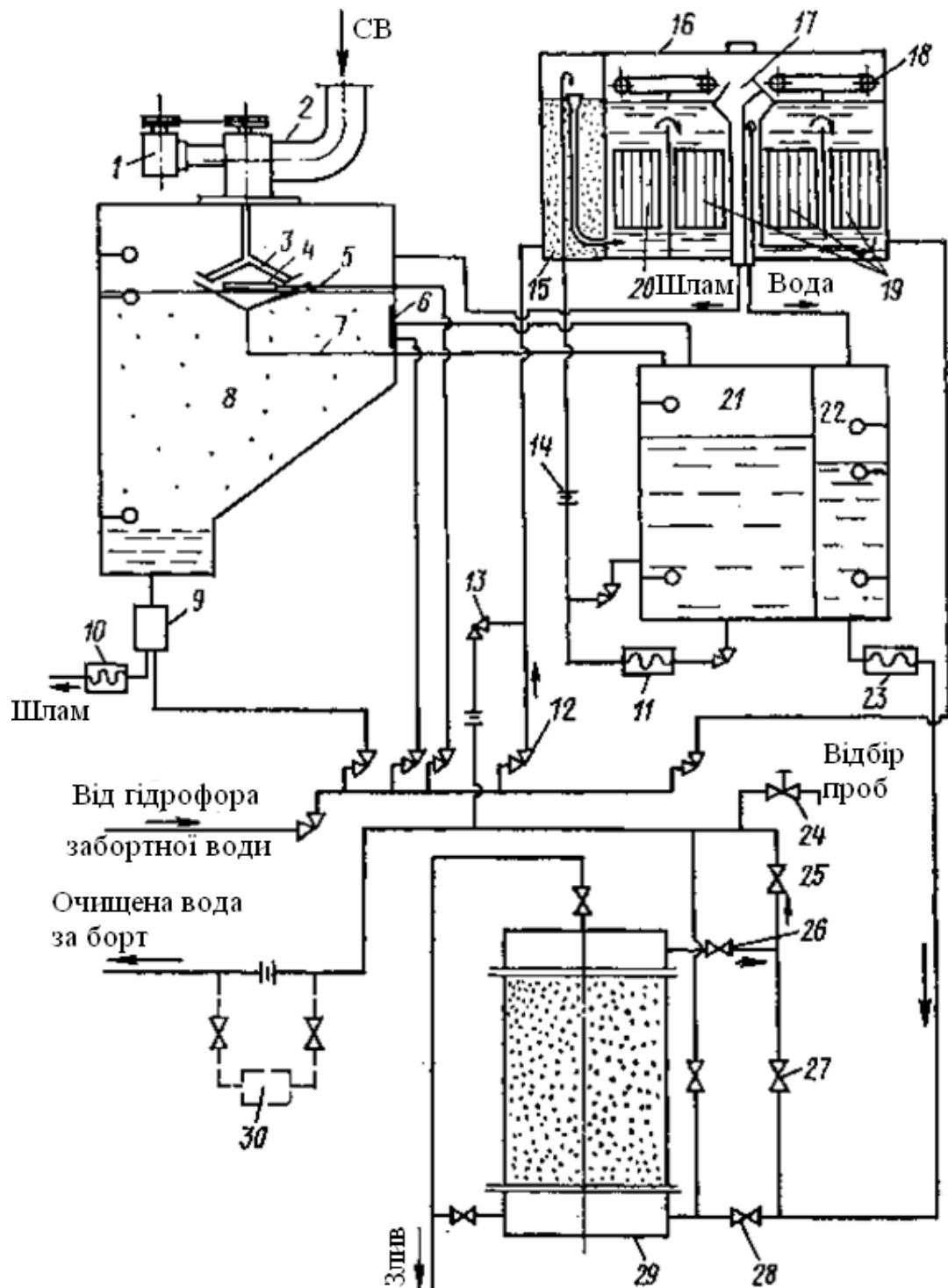


Рисунок 6.1 – Принципова схема установки ЕОС-5

У ємності 21 СВ накопичується до певного рівня. Після спрацювання датчика верхнього рівня включається насос 11, який частину СВ подає на обробку в блок тонкого очищення (БТО) 16; інша частина по байпасу повертається в ємність 21. Продуктивність установки

визначається розмірами отвору дросельної шайби 14. БТО складається із сольової ємності 15, призначеної для штучного підсолювання стоків при знаходженні судна в прісноводних водоймах, блоку алюмінієвих електродів коагулятора 20 і трьох блоків графітових електродів флотатора 19. У процесі очищення СВ послідовно проходить всі блоки БТО, у результаті чого забруднення, що перебувають у СВ, спливають на поверхню, створюючи шар шламу. Два скребкових транспортери 18 збирають його з поверхні води й скидають у порожнину 17, звідки він направляється в ємність 8.

Очищена й знезаражена вода із БТО надходить у ємність для збору очищеної води 22. Після досягнення певного рівня тут також спрацьовує датчик рівня, включається насос 23 і вода надходить на заключну стадію обробки в дехлоратор 29.

Дехлоратор знижує зміст залишкового активного хлору в очищеній воді (по існуючих нормах його концентрація не повинна перевищувати 5мг/л). Вода в дехлоратор подається знизу, проходить через шар активованого вугілля й з верхньої порожнини попадає в трубопровід відводу обробленої води за борт. Дехлоратор обладнаний трубопроводом зливу (осушення), що дозволяє при первісному заповненні видалити з верхньої порожнини повітря й при необхідності повністю осушити дехлоратор. На трубопроводі відводу води за борт є кран для відбору проб 24, а також, якщо передбачено проектом, турбидиметр 30 - прилад для визначення мутності обробленої води.

В установці ЕОС застосований електрохімічний спосіб очищення й знезаражування стічних вод, що умовно можна представити наступними послідовними процесами:

- коагуляція, що відбувається в блоці коагулятора й полягає в укрупненні забруднень, що перебувають у вигляді дрібної суспензії (колоїдний стан). Дрібні частки забруднень укрупнюються навколо часток

гідроокису алюмінію з утворенням пластівців, які потім віддаляються з води, наприклад флотацією. Коагуляція відбувається за рахунок розчинення алюмінієвих електродів, насичення іонами алюмінію потоку стічної води при її русі в міжелектродному просторі;

- флотація, тобто впливання часток скоагульованих забруднень за рахунок їхнього підйому на поверхню води пухирцями газу, що утворюються на графітових пластинах трьох послідовно розташованих флотаційних блоків;

- знезаражування, що відбувається за рахунок електрохімічного утворення активного хлору, а також під дією електричного поля. Для електрохімічного утворення активного хлору потрібно, щоб у воді перебувала певна кількість солі.

Особливістю установки ЕОС є те, що напруга підведена не до металевих електродів, а до графітових пластин, розміщених під металевими й відділеними від останніх ізоляцією. Крім того, міжелектродний простір розділений мембранами, що сприяють створенню різного середовища по обох її сторонах (кислотної й лужної). Даний прийом перешкоджає заростанню поверхонь алюмінієвих електродів.

У схемі установки ЕОС передбачене підсолювання СВ при знаходженні судна в морі, коли в туалетах використовується солоня морська вода й при знаходженні судна в прісноводні (внутрішніх) водоймах.

При знаходженні судна в морі стоки підсолюють шляхом додавання у СВ забортної води. Для цього здійснюють дозовану подачу води в сольову ємність 15 з магістралі гідрофора забортної води. Клапан 12 відкривають таким чином, щоб забортна вода надходила в сольову ємність у кількості, при якому вона не переливалася б через край прийомної вирви трубки подачі стоків у БТО, а лише безупинно перетікала через бічний калібрований отвір у цій трубці, просвердлений із цією метою трохи нижче.

При знаходженні судна в прісноводних водоймах у сольову ємність 15 засинають сіль (поварену або технічну).

Потім варто закрити клапан 12 і відкрити клапан 13. При цьому частина обробленої води із трубопроводу відводу очищеної води за борт почне надходити в сольову ємність, насичуватися сіллю й переливатися в прийомну вирву, змішуючись із потоком вступник на очищення СВ.

В обох описаних випадках сигналом про необхідність підсолювання слугить факт падіння величини струму на електродах нижче 20А.

Як указувалося вище, знезаражування СВ відбувається за рахунок електрохімічного розкладання солей, що знаходяться у СВ, але більшою мірою за рахунок утворення активного хлору. Оскільки концентрація солей у СВ постійно змінюється, то й кількість вироблюваного електролізом активного хлору теж безупинно змінюється. Для того щоб забезпечити надійне знезаражування, режим електролізу обраний виходячи з мінімально допустимої кількості солей у СВ. Тому при великій їхній концентрації може утворитися деякий надлишок невитраченого активного хлору в очищеній воді.

Санітарними правилами обмовляється граничний вміст хлору в воді, що складає - не більше 5мг/л. Для виконання даного правила в схемі передбачене застосування дехлоратора – пристрою для зниження величини активного хлору в очищеній воді за рахунок пропущення води через шар активованого вугілля.

У розглянутій схемі очищена в установці ЕОС вода направляється в нижню порожнину дехлоратора через клапан 28, проходить знизу нагору через шар вугілля, а потім через клапани 26 й 25 направляється за борт.

Схемою передбачений режим роботи установки з відключеним дехлоратором. У цьому випадку клапани 28 й 26 закриваються й відкривається клапан 27 обвідного трубопроводу.

У схемі передбачена можливість примусового промивання від системи заборотної води всіх основних ємностей установки. Інструкцією

для експлуатації особливо виділяються промивання сітки віддільника 3, грати 6 і дробарки 9. Засмічення сітки віддільника 3 приводить до того, що СВ буде скатуватися по поверхні сітки в шламову ємність 8, швидко заповнюючи останню. Датчик верхнього рівня шламової ємності в міру її заповнення буде періодично включати насос, і СВ буде відкачуватися в суднову збірну цистерну замість її обробки в установці.

Грати 6 і дробарку 9 рекомендується промивати кожні два дні роботи. Сітку віддільника 3, хоча вона й промивається автоматично, також рекомендується раз у тиждень промити в ручному .

ВИСНОВОК

Проаналізувавши можливі види забруднення водяних басейнів із суден, у ході проектування була передбачена установка приладів і устаткування, необхідного для запобігання забруднення, а також, для виконання вимог Міжнародної Конвенції МАРПОЛ 73/78.11.3.

ВИСНОВКИ

Зробимо висновки про виконану роботу.

- У ході цієї роботи були наведені та описані основні види вимірювання температури двигуна. Розглянуто їх переваги та недоліки, а також визначено сферу застосування кожного з них, ефективність діагностики температури для різних методів. Найбільш ефективні методи для діагностування та контролю під час роботи вважаються метод з використанням термопар або термоопір разом з безконтактним способом визначення температури за допомогою тепловізора. Разом ці два методи дають найбільш повні дані для подальшого аналізу теплових процесів в електричній машині. Дані отримані при цих методах вимірювання дозволяють побудувати повніші моделі теплових процесів для проектування, діагностики та оптимізації конструкцій електричних машин.

Для визначення теплового стану двигуна, у роботі були розраховані параметри двигуна за паспортними даними, побудовані механічні характеристики двигуна при різних законах регулювання, для визначення навантажувальних характеристик механізму (вентиляторна, насосна та кранова), для подальшого моделювання. Було представлено модель перетворювача частоти і модель двигуна для визначення динамічних характеристик.

Змодельовано поведінку двигуна при переході на різні значення швидкості завдання та представлені перехідні процеси швидкості та моменту для різних законів регулювання. Побудовано динамічну залежність моменту від швидкості при пуску на навантаження.

Для моделювання теплових процесів у двигуні було прийнято три-масову теплову модель двигуна (обмотки статора та ротора, сталь статора). Яка є спрощеним варіантом розподілу тепла у електричній машині. У ході створення моделі було прийнято низку спрощень, які дозволяють отримати загальний принцип нагрівання – охолодження двигуна без складних

розрахунків за паспортними даними та геометричними розмірами двигуна. Геометричні розміри двигуна були розраховані за допомогою пакету Mathcad за методикою І.П. Копилов "Проектування електричних машин". Це дозволило визначити масу кожного тіла, що бере участь у нагріванні/охолодженні двигуна, величину втрат у кожному з елементів, теплоємність кожного елемента та теплопровідність між елементами. Після цього були складені рівняння для схеми заміщення та підстановка отриманих даних у ці рівняння для визначення характеристичних коефіцієнтів.

Моделювання проводилося для двох різних типів виконання двигуна:

- з примусовим охолодженням, вважаючи тепловіддачу з поверхні двигуна постійною всім швидкостей.
- із самовентиляцією, тепловіддача з поверхні залежить від швидкості обертання двигуна.

При цьому моделювання проводилось для постійного моменту навантаження, щоб визначити залежність нагрівання двигуна від швидкості обертання. Нагрів збільшується за рахунок збільшення втрат у сталі та механічних втрат. Для двигуна із самовентиляцією зі збільшенням швидкості відбувається зменшення постійного часу нагріву за рахунок зміни тепловіддачі з поверхні. Також простежено нагрівання окремих частин машини та відмінність температур між ними.

Моделювання для різних законів управління дозволило визначити, в яких режимах роботи відбувається найбільше нагрівання двигуна, для кожного із законів та часткове визначення граничної частоти, при якій відбувається неконтрольований нагрівання двигуна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. И.П. Копылов «Проектирование электрических машин» Учеб. пособие. Москва «Энергия», 1980 г
2. А.Н. Бурковский, О.И. Пилипенко, О.А. Рыбалко, А.А. Мельник «Расчетно-теоретическое определение изменения теплового состояния обдуваемых асинхронных двигателей в режиме короткого замыкания и после него»
3. А.А. Мельник, В.Ф. Борисенко «К РАЗРАБОТКЕ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ПРИВОДНОГО ДВИГАТЕЛЯ КАНТОВАТЕЛЯ (в условиях стана 950/900)», «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина
4. Рыжков А.А. «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА БАЗЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ», Украина Мелитополь, «Таврический государственный агротехнологический университет».
5. Усольцев А.А. «ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ» Учебное пособие по дисциплинам электромеханического цикла, Санкт-Петербург, 2002.
6. О.П.ЧОРНИЙ, А.В.ЛУГОВОЙ, Д.Й.РОДЬКІН, Г.Ю.СИСЮК, О.В.САДОВОЙ «МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ», Кременчук, 2001.
7. М.М. Федоров, «ДИНАМИЧЕСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ МОДЕЛИ УЗЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН»
8. Силовая электроника №1 2005, «Применение современных преобразователей частоты».
9. И.П. Копылов «Математическое моделирование электрических машин» Учеб. пособие. Москва «Высшая школа», 2001 г.
10. А. Б. Виноградов «Векторное управление приводами переменного тока», «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», Иваново, 2008 г.

11. И. И. Филиппов «Теплообмен в электрических машинах», Ленинград, 1986.
12. Э.И. Гуревич, Ю.Л. Рыбкин «Переходные тепловые процессы в электрических машинах», Ленинград, 1983.
13. О.А. Геращенко, В.Г. Федоров «Тепловые и температурные измерения» Справочное руководство, «Наукова думка», Киев 1965
14. Шрейнер Р.Т. «Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты».
15. Истомина Н.Н. «Причины и виды термических дефектов обмоток асинхронного двигателя» Кременчугский государственный политехнический университет, Вісник КДПУ, 2005
16. Прус В.В. Исследование потерь в стали асинхронного двигателя при работе в зоне насыщения. “Вісник Кременчуцького Державного Політехнічного Університету”, №1, 1999