

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ В.П. Захарченко  
«    » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР  
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 151 «АВТОМАТИКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ НА  
ТРАНСПОРТІ»

**Тема: «Система векторного керування синхронним електродвигуном  
літального апарату»**

Виконавець \_\_\_\_\_ студент групи АТ-216М Луценко Владислав Володимирович  
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник \_\_\_\_\_ к.ф-м.н., с. н. с., доцент Журиленко Борис Євгенович  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант розділу «Охорона праці»: \_\_\_\_\_ С. М. Занько  
(підпис)

(ПБ)  
Консультант розділу «Охорона  
навколишнього середовища»: \_\_\_\_\_ В. Ф. Фролов  
(підпис)

(ПБ)  
Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ Б. Є. Журиленко

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аерокосмічний

Кафедра автоматизації та енергоменеджменту

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр, найменування)

Освітньо-професійна програма «Автоматика та автоматизація на транспорті»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В.П. Захарченко

«05» жовтня 2020 р.

## ЗАВДАННЯ

### на виконання дипломної роботи (проекту)

Луценка Владислава Володимировича

(П.І.Б. випускника)

1. Тема роботи (проекту) «Система векторного керування синхронним електродвигуном літального апарату» затверджена наказом ректора від «30» вересня 2020 р. № 1835/ст.
2. Термін виконання роботи (проекту): з 05.10.2020 р. по 27.12.2020 р.
3. Вихідні дані до роботи (проекту): Типи літальних апаратів. Системи керування синхронним двигуном. Математична модель синхронного двигуна з постійними магнітами. Векторне керування синхронним двигуном.
4. Зміст пояснювальної записки: Аналіз існуючих типів літальних апаратів їх класифікація та сфери використання. Принцип роботи синхронного двигуна, розбір його переваг та недоліків. Загальна характеристика систем керування електроприводом, та вибір оптимального методу керування. Аналітичне представлення синхронного двигуна. Розбір моделі двигуна з постійними магнітами. Дослідження структури системи керування, та її опис. Розбір моделі системи керування електроприводу в програмному середовищі Matlab Simulink.
5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: Загальна функціональна схема векторного керування. Структурна схема керування для трифазного синхронного двигуна з постійними магнітами. Модель системи керування трифазним синхронним електродвигуном з постійним магнітом. Блок-схема розімкненої системи регулювання електроприводом. Функціональна схема замкнутої системи регулювання електроприводом. Модель синхронного двигуна з постійними магнітами.

### 6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Вивчити інформаційні джерела	12.09-14.10.2020	
2.	Розглянути основні види літальних апаратів, їх класифікацію та сфери застосування	15.10-20.10.2020	
3.	Дослідити основні відомості про обраний метод керування електроприводом	20.10-30.10.2020	
4.	Дослідити структуру та модель системи керування синхронним двигуном	01.11-13.11.2020	
5.	Розгляд теми охорони праці	14.11.-18.11.2020	
6.	Розгляд теми охорони навколишнього середовища	19.11.-30.11.2020	
7.	Оформити обов'язковий теоретичний та ілюстративний матеріал	15.11-20.12.2020	

### 7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Занько С.М.		
Охорона навколишнього середовища	Фролов В.Ф.		

8. Дата видачі завдання: «05» вересня 2020 р.

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ Журиленко Б. Є.  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ Луценко В. В.  
(підпис випускника) (П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Система векторного керування синхронним електродвигуном літального апарату»: 92ст., 21 рисунок, 1 таблиця, 14 використаних джерел.

ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ЕЛЕКТРОПРИВОД, ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ, СИНХРОННИЙ ДВИГУН, СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.

**Об'єкт дослідження** – процес керування синхронним електродвигуном з постійними магнітами.

**Предмет дослідження** – система векторного керування синхронним електродвигуном.

**Мета дослідження** – аналіз структури та моделі системи векторного керування синхронним електродвигуном.

**Наукова новизна** – в даній роботі проаналізовано основні типи літальних апаратів та особливості роботи синхронного електродвигуна з постійними магнітами. Приведена функціональна схема системи векторного керування для трифазного синхронного електродвигуна, а також розглянута модель системи векторного керування та показників перехідних процесів відповідних параметрів.

**Методи дослідження:** метод порівняльного аналізу.

Матеріали дипломної роботи можуть бути використані для створення автоматичної системи керування електроприводом на базі синхронного двигуна для використання в безпілотних літальних апаратах та побутових приборах.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
РОЗДІЛ 1. РОЗГЛЯД ОСНОВНИХ ТИПІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ. АНАЛІЗ СИНХРОННОГО ДВИГУНА. ....	10
1.1. Загальні відомості про БПЛА. ....	10
1.2. Різновиди та область застосування БПЛА .....	17
1.3. Перспективи використання електродвигунів в порівнянні з ДВЗ на БПЛА. ....	23
1.4. Аналіз синхронного двигуна. ....	29
РОЗДІЛ 2. РОЗБІР ОСОБЛИВОСТЕЙ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ДВИГУНАМИ. МЕТОД ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ. ....	34
2.1. Основи керування регульованими електричними приводами. ....	34
2.2. Методи частотного керування електроприводами змінного струму. ....	37
2.3. Основні принципи векторного керування. ....	40
2.4. Математичний опис синхронного двигуна з постійними магнітами. ...	44
2.5 Характеристики синхронного двигуна з постійними магнітами. ....	47
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ. ....	49
3.1. Структура векторного керування. ....	49
3.2. Основна ідея побудови системи регулювання швидкості синхронного двигуна з неявно полюсним ротором. ....	52
3.3. Розбір структури та моделі системи векторного керування синхронним двигуном. ....	52
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ. ....	61
4.1. Основні положення для запобігання травматизму при роботі з літальними апаратами. ....	61
4.2. Технологічні заходи з організації зниження впливу шкідливих виробничих факторів. ....	66

4.3. Забезпечення пожежної безпеки під час експлуатації електроустаткування. . . . .	72
4.4. Інструкція з техніки безпеки під час експлуатації електроустаткування. . . . .	75
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА. . . . .	79
5.1. Вплив шумів, вібрацій, електромагнітного випромінювання на навколишнє середовище. . . . .	80
5.2. Заходи щодо захисту від шуму, вібрацій та електромагнітного випромінювання. . . . .	87
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ . . . . .	91

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЛА – літальний апарат

ДПЛА – дистанційно пілотований літальний апарат

БПЛА – безпілотний літальний апарат

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання

UVS – Unmanned Vehicle System

СДУ – система дистанційного керування

ICAO – International Civil Aviation Organization

ПП – повітряний простір

СД – синхронний двигун;

ВУ – векторне керування;

ОЗ – обмотка збудження;

ЕРС – електрорушійна сила;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ПІ – пропорційно-інтегральний;

ШМ – широтно-імпульсна модуляція.

## ВСТУП

Розвиток елементної бази і технологій виготовлення завжди залишається однією з важливих науково-технічних проблем. Актуальним залишається як пошук нових технічних рішень, так і вдосконалення відомих пристроїв. Зазначені тенденції справедливі і для електродвигунів з постійними магнітами, які використовуються в якості силової установки безпілотного літального апарату.

В даний час безпілотні літальні апарати здатні вирішувати практично будь-які задачі: попередження або керування надзвичайними ситуаціями, спостереження і дистанційний збір даних про об'єкти, сектор безпеки, включаючи патрулювання вулиць міст, транспортних розв'язок чи інших територій. Також літальні апарати досить часто використовують в таких областях: пожежна безпека, сільське господарство, рибальство, лісництво, геодезія, картографування місцевості, географія, геологія, будівництво, засоби масової інформації, кінематографія, нафтогазовий сектор, енергетика. У літальних апаратах масою до 10 кілограмів в якості силової установки найбільше застосування отримали силові установки, виконані з використанням електричних двигунів.

**Актуальність теми** дослідження пояснюється тим, що розширення сфери застосування електроприводів з безконтактними двигунами створює необхідність проведення подальших досліджень з вивчення особливостей їх роботи в ряді нових областей. Залишаються відкритими питання формування робочих характеристик, що забезпечують високу стабільність миттєвих значень електромагнітного моменту, також не вирішено багато питань технологічного характеру.

Поступове впровадження електричного двигуна в різні галузі промисловості, зумовлювало підвищення складності не лише механічної складової, а й систем контролю та керування електричними двигунами, приводами та комплексами виробничих, і не тільки, систем.



Всі ці фактори формують актуальність розробки універсальної системи керування електроприводом на базі синхронного двигуна.

**Об'єкт дослідження** – процес керування синхронним електродвигуном з постійними магнітами.

**Предмет дослідження** – система векторного керування синхронним електродвигуном.

**Мета** – аналіз структури та моделі системи керування синхронним двигуном.

**Завдання.** Аналіз існуючих типів літальних апаратів їх класифікація та сфери використання. Принцип роботи синхронного двигуна, розбір його переваг та недоліків. Загальна характеристика систем керування електроприводом, та вибір оптимального методу керування. Аналітичне представлення синхронного двигуна. Розбір моделі двигуна з постійними магнітами. Дослідження структури системи керування, та її опис. Розбір моделі системи керування електроприводу в програмному середовищі Matlab Simulink та вихідних даних моделі.

**Практичне значення роботи.** Матеріали дипломної роботи можуть бути використані для створення автоматичної системи керування електроприводом на базі синхронного двигуна для використання як в безпілотних літальних апаратах так і в побутових приборах невеликого розміру.

# РОЗДІЛ 1

## РОЗГЛЯД ОСНОВНИХ ТИПІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ. АНАЛІЗ СИНХРОННОГО ДВИГУНА

### 1.1. Загальні відомості про БПЛА

В даний час в засобах масової інформації, так і в повсякденному житті, можна зустріти або обговорення застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА), або їх використання для виконання будь-яких завдань галузей економіки і забезпечення безпеки, або використання інформації сформованої за допомогою БПЛА.

У всьому світі використовується велика кількість БПЛА, які розрізняються своєю конструкцією, технологією виготовлення, спектром виконуваних завдань і функціональних можливостей, особливостей застосування, мають свої переваги та недоліки.

Згідно з визначенням, схваленим Асамблеєю ІКАО (*International Civil Aviation Organization*), «безпілотний літальний апарат (дрон) являє собою повітряне судно без пілота, яке виконує політ без командира повітряного судна на борту і або повністю дистанційно керується з іншого місця на землі, з борта іншого повітряного судна, з космосу, або керується за програмою і повністю автономно».

В даний час безпілотні літальні апарати (БПЛА) здатні вирішувати практично будь-які задачі: запобігання або керування надзвичайними ситуаціями, спостереження і дистанційний збір даних про об'єкти, сектор безпеки, включаючи патрулювання вулиць міст, транспортних розв'язок чи інших територій. Також область застосування БПЛА досить обширна в таких областях: пожежна безпека, сільське господарство, рибальство, лісництво, геодезія, картографування місцевості, географія, геологія, будівництво, засоби масової інформації, кінематографія, нафтогазовий сектор, енергетика [3].

В залежності від призначення, БЛА оснащуються електронікою, розвідувальною апаратурою, потужним екрануванням від перешкод. Зазвичай мають досить компактні розміри для меншої помітності, але можуть мати і великі розміри, в порівнянні з повнорозмірними літаками.

Відсутність пілота і систем його життєзабезпечення, систем керування і виведення інформації дозволяють реалізувати менші розміри безпілотної літака для розвідки, велику маневреність для винищувачів, велике корисне навантаження для бомбардувальників і ударних БПЛА [7].

Розрізняють БПЛА автоматичні, що працюють відповідно до закладених в їх бортовий комп'ютер програмами (літаки-розвідники та ін.), і дистанційно пілотовані літальні апарати (ДПЛА), які також належать до класу БПЛА.

Дистанційно пілотовані літальні апарати (ДПЛА), літальний апарат, пілотований людиною (пілотом, оператором), що знаходяться на пункті керування, розташованому на землі, на повітряному або космічному літальному апараті. ДПЛА є подальшим розвитком телекерованого літального апарату (ЛА), який керується в основному бортовою автоматичною системою. На відміну від телекерованого ЛА, ДПЛА керується оператором не епізодично, а безперервно, в залежності від конкретної обстановки в районі його польоту.

Як правило, ДПЛА обладнується телевізійною камерою зі змінною фокусною відстанню, ІЧ-системою огляду. ДПЛА - складова частина авіаційного, авіаційно-космічних або космічного комплексу. Однією з головних складових частин цих комплексів є система дистанційного керування ЛА (СДУ), що забезпечує можливість отримання, дешифрування і передачі інформації на пункт дистанційного керування в реальному масштабі часу. СДУ повинна забезпечувати безперервний перешкодостійкий, дуплексний зв'язок, одночасне пілотування декількох ДПЛА, що виконують різні завдання [9].

БПЛА функціонує не абсолютно самостійно, а в складі комплексу. Такий комплекс називають безпілотною авіаційною системою - БАС (Unmanned Vehicle System - UVS). В БАС входить не тільки сам літальний апарат (апарати), але також вся інфраструктура і засоби забезпечення: транспортно-пусковий

пристрій, засоби зв'язку, наземний пункт керування, диспетчерські пункти, ретрансляційні вузли, станції підзарядки, засоби транспортування, запуску, посадки і т. д. [4].

Призначення сучасних БПЛА не обмежується тільки військовою сферою. Стрімко розширюється і сфера їх цивільного застосування в нафтогазовій промисловості, на транспорті, в будівництві, сільському господарстві, зв'язку та ін. Повністю автономні безпілотні мобільні засоби зустрічаються рідко. Як правило, автономність не є стовідсотковою: зазвичай оператор має можливість корегувати поведінку апарату або переводити його на ручне дистанційне керування. У військових БПЛА за ступенем автономності мобільних засобів розрізняють системи з керованими об'єктами, коли віддалений оператор є необхідною ланкою системи керування (man-in-the-loop systems) з контрольованими об'єктами; коли всі звичайні завдання вирішуються без участі оператора, а втручання його потрібно тільки в відповідальних випадках (man-on-the-loop systems); і повністю автономні системи, коли оператор тільки ініціює систему для виконання завдання (fully autonomous systems).

До особливостей безпілотних авіаційних комплексів можна віднести очікуване зниження вартості життєвого циклу такого комплексу в порівнянні з авіаційним комплексом, що включає пілотовані літаки, за рахунок:

- менших експлуатаційних витрат, особливо для БПЛА, які в мирний час не застосовуються, а знаходяться на базі зберігання;
- економії коштів на підготовку екіпажу і персоналу;
- значно меншої вартості самого безпілотного літака в порівнянні з пілотованим аналогом, за рахунок виключення ряду систем життєзабезпечення пілота, і відповідно меншої розмірності.

Основним недоліком безпілотних літаків в порівнянні з пілотованими є менша гнучкість і автономність застосування, обумовленим недостатнім в даний час рівнем розвитку програмного забезпечення, що не завжди дозволяє повністю компенсувати відсутність екіпажу на борту [5].

З огляду на вищевикладені недоліки, слід зазначити кілька завдань, повна автоматизація вирішення яких в найближчому майбутньому може бути ускладнена через наступні причини:

- пасажирські перевезення, що вимагають підвищеної надійності, яку забезпечує екіпаж на борту, і здатен взяти на себе керування в разі збою в роботі автоматичної системи керування, а також вжити нестандартні дії з порятунку літака в критичній ситуації;
- застосування в якості літака поля бою для безпосередньої вогневої підтримки військ, коли потрібне ретельне візуальне дослідження складної і швидкоплинної наземної обстановки, що виключає нанесення удару по своїм військам;
- застосування в якості маневреного винищувача в надзвичайних ситуаціях, що характеризуються високою динамічністю, складністю, багатоваріантністю маневру, для досягнення успіху в яких не останню роль відіграє нестандартний підхід пілота.

При деяких завданнях БПЛА може бути альтернативним засобом, що забезпечує рішення задач, недоступних пілотованого аналогу.

До таких завдань відносяться, перш за все, дії пов'язані з фізіологічними обмеженнями на організм людини. У числі таких обмежень можна відзначити:

- більшу тривалість польоту, несумісну з працездатністю екіпажу;
- тривалий політ на великій швидкості з урахуванням рельєфу місцевості, пов'язаний з тривалою дією різних перевантажень;
- маневрування з перевантаженнями і кутовими швидкостями, які перевищують порогові значення, що переносяться організмом людини;
- застосування на борту літака радіоелектронних засобів, що створюють поля які негативно впливають на людину;
- застосування літального апаратів умовах хімічного або радіоактивного зараження.

В даний час БПЛА широко застосовують для вирішення завдань силових структур. Перш за все, для пошуку і контролю ситуації, використовуючи

мікролітаки та дрони, що запускаються з руки, і призначені для з'ясування тактичної обстановки, і закінчуючи стратегічними безпілотниками, що курсують більше доби на висотах до 20 км і здійснюють моніторинг в залежності від поставленого завдання. БПЛА літакового типу також можуть бути задіяні для:

- радіоелектронної боротьби;
- ретрансляції зв'язку, в тому числі і від інших БПЛА;
- лазерного позначення цілей;
- тренування персоналу комплексів протиповітряної оборони в якості авіаційних помилкових цілей або повітряних мішеней.



Рис 1.1. Приклад зображення, що отримує оператор ДПЛА

В цивільних цілях безпілотні літальні апарати знаходять основне застосування для різного моніторингу, з метою:

- спостереження за громадським порядком, транспортним рухом, державним кордоном, заповідниками і надання інформаційної допомоги у виявленні та затриманні правопорушників;
- контролю над станом доріг, транспортних розв'язок, залізничних вузлів, інженерних споруд, нафто і газопроводів;

- екологічного моніторингу, науково-дослідних завдань, допомоги службам прогнозу погоди, інформаційного забезпечення при надзвичайних ситуаціях (лісові пожежі, техногенні катастрофи тощо.).

Крім цього, БПЛА можуть знайти застосування, як:

- літаки-ретранслятори систем зв'язку, з огляду на можливість тривалості баражування (в середньому 24-36 годин);

- сільськогосподарські літаки, які при проведенні авіа хімічних робіт змушені виконувати польоти на висотах близько декількох метрів, що пов'язано з підвищеною вірогідністю зіткненні із землею та іншим перешкодами (наприклад, кроною або верхівками дерев, електричними стовпами), а також для вивчення ґрунту, вологості, контролю агротехнічних операцій і т.п.;

- вантажні літаки (наприклад, для оперативної доставки вантажів в умовах Крайньої Півночі і високої непрохідності наземного транспорту)

При виборі альтернативи між пілотованим і безпілотним літаком слід проводити їх комплексне порівняння з урахуванням всієї сукупності переваг та недоліків застосування БПЛА при вирішенні того чи іншого завдання.



Рис. 1.2. Приклад використання БПЛА-квадрокоптера в сільському господарстві.

БПЛА типу «дрон» або «квадрокоптер» (Рис 1.1) широко застосовуються для доставки посилок, пошти і вантажів, для запилення і хімічної обробки в сільському господарстві, в туризмі та кіно і телеіндустрії для зйомок, з боку поліції і МНС для моніторингу дорожньої або природної обстановки.

В останні роки спостерігаються сфери, де створюються передумови для використання БПЛА для автоматизації процесів або полегшення виконання цілого ряду завдань і функцій. Однією з таких сфер може стати сфера геодезії і картографії, для обміру та цифровізації земельних карт і ділянок, сфера сільського господарства для запилення, боротьби з шкідниками, контролю і моніторингу посівів [8].

Однією з головних характеристик, по якій можна відрізнити БПЛА від ДПЛА, є наявність повноцінної системи автоматичного керування. Так, для керування БПЛА стратегічного і тактичного призначення найчастіше застосовують стаціонарні пункти керування. Для керування БПЛА оперативного призначення доцільно розміщувати пункти керування на мобільних платформах - на автомобілях або кораблях, а для керування легкими апаратами невеликого радіусу дії найчастіше використовують носяться портативні комплекти, швидко розгортаються і збираються в польових умовах.

Схема БПЛА включає: пристрої отримання видової інформації (супутникову навігаційну систему, пристрої радіолінії видовий і телеметричної інформації, командно-навігаційної радіолінії з антенно-фідерним пристроєм, пристрій обміну командною інформацією, пристрій інформаційного обміну, бортову цифрову обчислювальну машину, пристрій зберігання видової інформації); оглядові пристрої (телевізійне, інфрачервоне, радіолокаційне та т.п.), що забезпечують необхідну зону захоплення на місцевості; вбудований блок живлення (забезпечує узгодження по напрузі і струмів споживання бортового джерела живлення і пристроїв, що входять до складу корисного навантаження, а також оперативний захист від коротких замикань і перевантажень в електромережі). Для забезпечення зв'язку на значні відстані і підвищення перешкодозахищеності за рахунок просторової селекції в



комплексах керування БПЛА широко використовуються гостро направлені антенні системи [4].

## 1.2. Різновиди та область застосування БПЛА

Існує велика кількість різновидів літальних апаратів, тому і класифікаційних ознак, також багато. Виділимо основні з них, та більш детально розглянемо найбільш вагомі.

Сучасні літальні апарати, а точніше – БПЛА класифікують за такими ознаками:

- |                               |   |
|-------------------------------|---|
| 1) використання;              | 10) паливна система;  |
| 2) тип системи керування;     | 11) тип паливного бака;   |
| 3) правила польоту;           | 12) кількість використань;  |
| 4) клас повітряного простору; | 13) категорія (з урахуванням маси та максимальної дальності дії); |
| 5) тип ЛА;                    | 14) радіус дії;   |
| 6) тип крила;                 | 15) висота.   |
| 7) напрямок зльоту / посадки; | 16) функціональне призначення.                                    |
| 8) тип зльоту / посадки;      |   |
| 9) тип двигуна;               |   |

*За призначенням* БПЛА бувають для наукових (випробування нової техніки, в тому числі нових принципів польоту, спостереження за природними явищами та ін.) та прикладних цілей (поділяються на БПЛА для військового і цивільного застосування).

*Військові БПЛА.* За функціональним призначенням класифікують на спостережні (можуть використовуватися, зокрема, для коригування вогню на поле бою); розвідувальні; ударні (для ударів по наземних цілях за допомогою ракетного озброєння; розвідувально-ударні; бомбардувальні; винищувальні для знищення повітряних цілей); радіотрансляційні; БПЛА РЕБ (для цілей радіоелектронної боротьби); транспортні; БПЛА-мішені; БПЛА-імітатори цілі; багатоцільові БПЛА.



Рис 1.3. Приклад БПЛА, що використовують у військових цілях.

*Цивільні БПЛА.* Застосовуються для моніторингу різних об'єктів, відео спостереження з метою охорони; моніторинг лісових масивів службою лісоохорони; спостереження за рухом на залізничних і шосейних дорогах, контроль судноплавства; спостереження за посівами підприємств сільського господарства; картографування земної поверхні; розвідка і складання планів приміщень за допомогою малих БПЛА всередині зруйнованих або небезпечних будівель; моніторинг нафтогазових об'єктів, особливо трубопроводів; радіаційна і хімічна розвідка на небезпечних територіях; відео, фотозйомка важкодоступних промислових об'єктів (ліній електропередач, опор мостів, димових труб, вітрогенераторів, антен і т.д.); моніторинг небезпечних природних явищ (паводків, вивержень вулканів, лавинонебезпечних гірських районів і ін.); пошук корисних копалин за допомогою спеціальних засобів зондування та ін.; рекламних, пізнавальних акцій (відео- та фотозйомка об'єктів архітектури, природи, бізнесу, а також масових заходів з метою презентації або реклами; використання БПЛА в якості носіїв реклами; авіамоделізм і авіаконструювання; використання малих БПЛА в якості арт-об'єкта або об'єкта розваги та ін.); для доставки вантажів і подібних заходів (доставка пошти; доставка інструментів, комплектуючих і матеріалів на будівельні об'єкти; монтаж різних конструкцій; розпорошення хімікатів та внесення добрив на полях; прокладка кабелю в небезпечних зонах; доставка продуктів, пального, запчастин, джерел живлення і т. д. в важкодоступні райони для забезпечення

альпіністів, туристів, експедицій; скидання маркерів - світлових, радіовипромінювальних, для позначення будь-яких об'єктів; доставка медикаментів та медобладнання для постраждалих в зони аварій і катастроф та ін.); ретрансляції сигналів (ретрансляція радіосигналів з метою збільшення дальності дії каналів зв'язку; використання БПЛА в якості носіїв освітлювального обладнання та ін.) [6].

*За методом керування можна виділити наступні різновиди БПЛА:*

1) Дистанційно-пілотований спосіб. керування польотом здійснюється в двох режимах:

- ручне керування, здійснюється за рахунок керування оператором безпілотного літального апарату в режимі реального часу;
- автоматизоване керування здійснюється автономно, з можливістю його коригування. Попередньо вводять координати точок маршруту, визначаючи поточний стан літального апарату за допомогою навігації.

2) Автоматичний спосіб, керування відбувається автопілотом по заздалегідь заданій траєкторії на заданій висоті із заданою швидкістю і зі стабілізацією кутів орієнтації.

Найбільш поширеним на сьогоднішній час є дистанційно - пілотований спосіб, що дозволяє в режимі реального часу проводити дослідження необхідної місцевості і об'єктів. Оператор з землі управляє безпілотним літальним апаратом або вносить зміни в заданому маршруті. Однак з точки зору перешкодозахищеності від електромагнітного впливу він є найбільш вразливим.

*За правилами польотів* БЛА діляться на: візуальні, приладові, візуально-приладові. Якщо БЛА знаходиться і виконує політ в межах видимості пілота, який керує і контролює його в світлий час доби, то політ - візуальний, а якщо виконується політ в автоматичному режимі («Автопілоті» для пілотованих ЛА) не тільки в видимій зоні, але і в сліпих зонах, а також в темний час доби з відповідною системою керування, то політ - приладовий. Візуально-приладові - коли під час одного польоту використовуються візуальні і приладові правила (наприклад, зліт і посадка - візуальні, а основна частина польоту - приладна).

Класифікація за правилами польотів виконується в залежності від системи керування БЛА, аналогічно пілотованим ЛА, згідно з міжнародними авіаційними стандартами, польоти виконуються за візуальними правилами (ПВП) і за приладами (ППП) [11].

По використовуваному класу повітряного простору (ПП) БЛА можна розділити на сегреговані і несегреговані. У свою чергу, несегреговані бувають класу А, В і С. Сегрегованого - виконують польоти в сегрегованому ПП (заборонених зонах, зонах обмеження польотів, а також спеціальних зонах польотів для БЛА (якщо це передбачено авіаційними стандартами держави)), а несегреговані відповідно в несегрегованому ПП класів А, В, С, де необхідно відповідні бортове обладнання, ліцензії та дозволи служб організації та обслуговування повітряного руху. Відповідно до документів ІСАО необхідно враховувати тип БЛА. Наприклад, А-несегрегований означає, що БЛА може виконувати польоти в несегрегованому ПП класу А; сегрегований - польоти тільки в сегрегованому просторі; сегрегованого / АВС-несегрегований - в залежності від модифікації може виконувати польоти в сегрегованому просторі або в несегрегованому ПП класу А, В, С. Однак необхідно враховувати, що технології БАС розвиваються і до зазначених класів несегрегованого ПП можуть бути додані інші [11].

#### *Класифікація БПЛА за принципом польоту*

Існує два типи безпілотних літальних апаратів, крила, що обертається і фіксованого крила. Безпілотні літальні апарати фіксованого крила - це безпілотні літаки, які використовують прямий поштовх по фіксованому крилі, щоб отримати підйомну силу. Вони потребують відносно високої пускової швидкості, щоб отримати підйомну силу, тому не підходять для роботи в обмеженому або небезпечному навколишньому середовищі.

Безпілотні літальні апарати обертового крила також розділені ще на 2 типи: одnogвинтової і багатогвинтові (мультикоптери). Одnogвинтові схеми використовуються для побудови вертольотів. Вони зазвичай використовують приводний несучий гвинт, що забезпечує підйомну силу, яка врівноважується

хвостовим рульовим гвинтом. Багатогвинтові вертольоти мають більше 2-х несучих гвинтів для керування всіма формами руху.

*БПЛА літакового типу.* У БПЛА літакового типу підйомна сила створюється аеродинамічним способом за рахунок напору повітря, що набігає на нерухоме крило. Апарати такого типу, як правило, відрізняються більшою тривалістю польоту, максимальною висотою польоту і високою швидкістю. БПЛА літакового типу розрізняються по злітній масі і бувають легкі (злітна маса менше 20 кг; виконані в основному за схемою «літаюче крило», що володіє найбільшою несучою площею і корисним об'ємом при мінімальних габаритах; використовується в основному електродвигун; час польоту близько 1 ч, висота польоту до 1 км), середні (від 20 до 200 кг; поряд з електродвигунами застосовують сучасні ДВС малої кубатури, час польоту кілька годин і висота до 3-5 км); важкі (понад 200 кг, час польоту 10-12 год і висота до 9-10 км; базуються на аеродромах, можуть злітати і сідати на асфальтові і ґрунтові аеродроми, а також злітати з катапульт або з використанням твердопаливних прискорювачів; в основному застосовуються бензинові двигуни внутрішнього згорання, найчастіше 4-циліндрові, мають гіростабілізовану поворотну платформу для установки корисного навантаження), надважкі (понад 1500 кг, висота польоту до 20 км, час польоту 24 год і більше, а також вони апарати з'явилися порівняно недавно і мало поширені, використовуються як апарати -аналог пілотованих літаків і наддалекі стратегічні розвідники).

*БПЛА з гнучким крилом.* Це дешеві і економічні літальні апарати аеродинамічного типу, в яких в якості несучого крила використовується не жорстка, а гнучка (м'яка) конструкція, виконана з тканини, еластичного полімерного матеріалу або пружного композитного матеріалу, що володіє властивістю оборотної деформації. В цьому класі БПЛА можна виділити безпілотні моторизовані пароплани, дельтаплани і БПЛА з пружно деформується крилом. Крило в апаратах такого типу виконується з композитного матеріалу з великим ступенем пружності. Це дозволяє згортати крило без побоювання втратити його форму.

*БПЛА вертолітного типу.* БПЛА з обертовим крилом. Підйомна сила у апаратів цього типу також створюється на основі аеродинамічних сил, але не за рахунок крил, а за рахунок обертових лопатей несучого гвинта (гвинтів). Крила або відсутні зовсім, або грають допоміжну роль. Очевидними перевагами БПЛА вертолітного типу є здатність зависання на місці і висока маневреність, тому їх часто використовують в якості повітряних роботів.

*За паливною системою* БЛА діляться на монозаправочні (одноразові) і полізаправочні (багаторазові). Монозаправочна - одноразова заправка паливної системи виконується в виробничих умовах виробником на заводі, а полізаправочна - багаторазова заправка, яка може в свою чергу бути: наземної (виконується на землі), платформної (морська (на борту морського судна), бортова (на борту пілотованого ЛА, призначеного для перевезення, запуску і заправки БПЛА)), польотної (заправка в повітрі під час польоту ЛА заправником).

*За типом паливного бака* бувають базовими та базово-резервними. Базові БЛА мають основний паливний бак, а базово-резервні - основний і резервні паливні баки.

*За кількістю використань*, в залежності від паливної системи, можуть бути одноразові (безпосадочні; посадкові) і багаторазові. Наприклад, якщо не передбачена система посадки - то він є одноразовим безпосадковим БЛА. Якщо використовується одноразова паливна система і є система посадки - то це одноразовий посадковий. Багаторазові БЛА використовуються не один раз і можуть вирішувати різні завдання [7].

### **1.3. Перспективи використання електродвигунів в порівнянні з ДВЗ на БПЛА**

На даний момент залишається актуальною проблема створення безпілотного літального апарату (БПЛА) без двигуна внутрішнього згорання, який володів би аналогічними технічними характеристиками, при цьому

перевершуючи свій аналог за деякими параметрами. Такий апарат повинен відповідати високим вимогам маневреності, швидкості польоту і надійності.

Існуючі зразки такого роду БПЛА недосконалі. Їх основними недоліками є:

- низька швидкість польоту;
- складна система керування польотом;
- висота польоту близько 8-12 тисяч метрів;
- невелика вага корисного навантаження, яка встановлюється на БПЛА.

В даний час наведені вище проблеми можна вирішити, якщо для БПЛА правильно підібрати електродвигуни та систему керування електродвигуном.

Застосування електродвигунів на БПЛА обумовлено рядом причин. По-перше, у сучасних електродвигунів високий коефіцієнт корисної дії (в разі застосування безколекторного двигуна фактично може досягати 95%). По-друге, електродвигуни важать значно менше, ніж аналогічні за характеристиками двигуни внутрішнього згорання. Більш того, до електродвигуна не потрібно підводити паливо для забезпечення його функціонування. Це розширює можливості конструювання БПЛА, адже не потрібно передбачати розміщення в корпусі БПЛА паливопроводів. Варто відзначити, що електродвигун і система його живлення (акумуляторна батарея) менш вибухонебезпечна, ніж аналогічна система з двигуном внутрішнього згорання. По-третє, електродвигуни практично не випускають теплого випромінювання, тому БПЛА з електродвигунами важко виявити тепловим радаром. Це розширює можливості його застосування в розвідувальних цілях.

У більшості випадків передбачається, що БПЛА буде функціонувати на висоті близько 18000 тисяч метрів, для того щоб виключити можливість взаємодії БПЛА з судами цивільної авіації. В результаті випробувань одного з сучасних БПЛА були виявлені деякі особливості польоту даного апарату на розглянутих висотах.

Спочатку компанія ARCA передбачала оснащувати свої БПЛА AirStrato двома електричними двигунами. В ході випробувань були зроблені висновки

про недостатню потужність застосовуваної силової установки. Надалі прототип отримав чотири електродвигуни, що також виявилось недостатнім для функціонування на висоті 18 тисяч метрів. Останній дослідний зразок БПЛА, а після нього і інші модифікації родинних БПЛА, отримали силову установку з шістьма електродвигунами. В даний час БПЛА цієї фірми Explorer і Pioneer, практично готові до серійного виробництва, планується оснащувати шістьма електродвигунами Robbe 8085/10, які передбачено розташувати біля задньої кромки крила. На цих двигунах встановлюються штовхаючі гвинти.

За даними, отриманими в результаті випробувань прототипів БПЛА AirStrato, причиною для доробок силової установки стала специфіка роботи повітряних гвинтів на великих висотах. Потужність електричних двигунів, встановлених на дослідних зразках, не залежить від висоти польоту БПЛА. При польоті на висоті до 9 тисяч метрів повітряні гвинти зберігають свою ефективність. Тобто, фактичні характеристики БПЛА на висотах до 9 тисяч метрів збігаються з розрахунковими характеристиками. При подальшому збільшенні висоти ефективність гвинтів помітно падає. Таким чином, для забезпечення необхідних характеристик при польоті на висоті, близькою до максимально можливої, БПЛА повинен оснащуватися великою кількістю електродвигунів з штовхаючими гвинтами.

БПЛА, в яких в якості силової установки використовуються електродвигуни, що живляться від акумуляторів, є перспективною розробкою з точки зору екології. Пояснюється це тим, що при функціонуванні таких БПЛА не відбувається шкідливих викидів в атмосферу, обумовлених згоряння палива.

Перевага використання електродвигунів на БПЛА полягає також в тому, що існує можливість забезпечити живлення електродвигунів за рахунок енергії, що накопичується сонячними батареями. Гарним прикладом використання сонячної енергії є літак «Solar Impulse 2». Кругосвітній переліт літака, мотори якого живляться тільки за рахунок енергії сонця, на жодну хвилину не переривався, він пробув в повітрі близько п'яти діб. За цей час електричний літак подолав відстань 7212 км і встановив три абсолютних світових рекорди [6].



Першим досягненням став рекорд по тривалості (за часом) польоту - від моменту зльоту з Нагоя (Японія) і до моменту посадки на Гавайських островах судно провело в повітрі 117 годин і 52 хвилини.

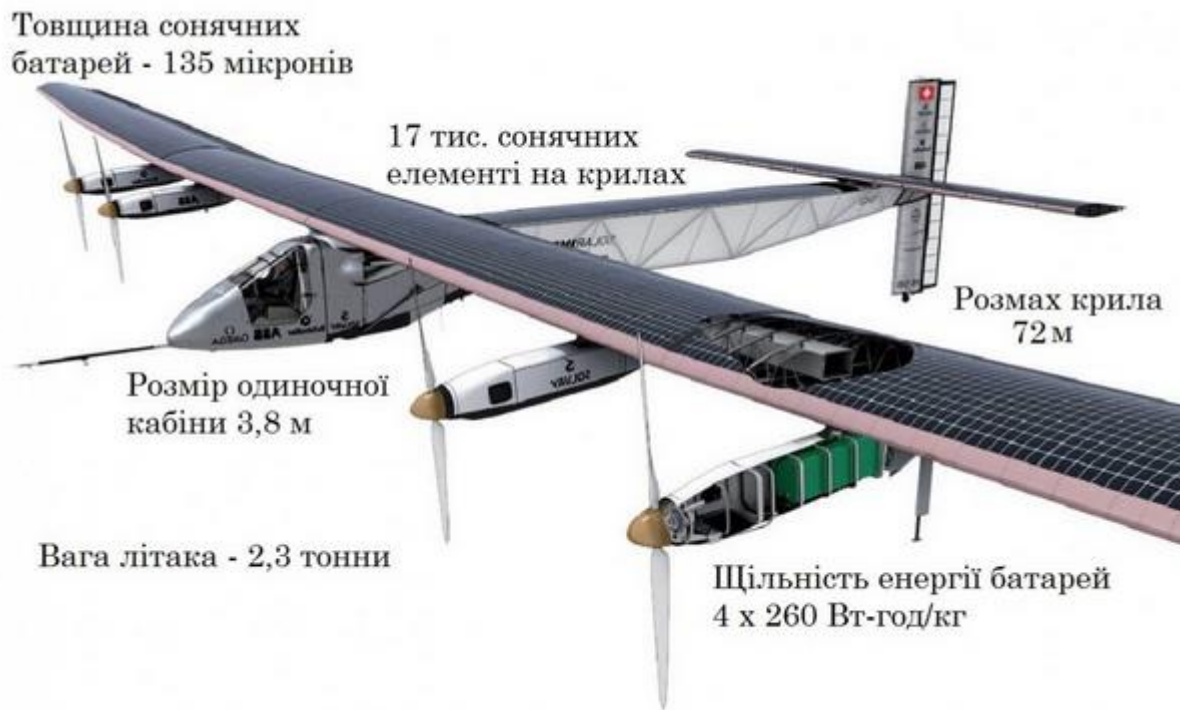


Рис. 1.4. Масогабаритні характеристики літака Solar Impulse 2

Другим і третім - рекорди за часом і дальністю польоту літака, енергія для якого поставлялася тільки за рахунок фотоелементів, встановлених на його борту. Перебуваючи над Тихим Океаном, Solar Impulse 2 досягав максимальної висоти в 8364 метрів (вдень літак набирає висоту для нічного «планування» з метою економії заряду батарей), а середня швидкість судна становила приблизно 61,19 км / год.

Розмах крил літака становить 72 метри (для порівняння: розмах одного з найбільших авіалайнерів Boeing 747-8 - 69,8 м). При таких гігантських габаритах вага літака на сонячних батареях знаходиться в межах 2300 кілограм. Така легка конструкція забезпечується за рахунок застосування вуглецевого волокна і технологій, запозичених з кораблебудування.

Чотири електричних мотора (загальною потужністю 70 к.с.) «сонячного» літака забезпечуються енергією, що генерується 17248 осередками фотоелектричних елементів, товщина яких становить не більше 135 мікрон і на які нанесено захисне покриття з сополімера фтору. Енергії, що виробляється сонячними модулями в світлий час доби, достатньо не тільки для живлення електродвигунів, а й для зарядки літій-полімерних батарей, вагою 633 кг, заряд яких споживається в нічний час польоту.

Побудовані за подібною схемою БПЛА в подальшому зможуть здійснювати польоти, тривалість яких буде обмежена лише технічним станом БПЛА.

Варто звернути увагу на те, що якщо у БПЛА електродвигуни розташовуються на крилах можливе застосування технології «гнучке крило». Особливістю такої технології є те, що на крилі відсутні звичні механізми, що відповідають за зміну напрямку польоту БПЛА і контроль швидкості польоту БПЛА. Маневрування і зміна швидкості БПЛА (наприклад, при посадці) здійснюється за рахунок зміни геометрії крила. Перевага даної технології полягає в тому, що при маневруванні або зміні швидкості крило зберігає обтічну форму. Застосування технології «гнучке крило» складне в реалізації при використанні двигунів внутрішнього згоряння, адже при установці двигунів внутрішнього згоряння на крилі необхідно забезпечити до них підведення палива. При використанні «гнучкого крила» підвести паливо до двигуна, розташованому на крилі, практично не здійсненна задача. Якщо в такому випадку використовувати електродвигун, що працює за рахунок того, що на нього по дротах подається електричний струм від акумулятора, труднощів для використання «гнучкого крила» не буде.

Варто зупинитися на тому, які конкретно електродвигуни застосовуються на сучасних БПЛА.

У застосуванні на БПЛА широкого поширення набули безколекторні електродвигуни. Безколекторні електродвигуни також називають вентильними.

Конструктивно безколекторний двигун складається з ротора з постійними магнітами і статора з обмотками. Варто відзначити, що в колекторному двигуні обмотки знаходяться на роторі. Тому, далі в тексті ротор - елемент електродвигуна з постійними магнітами, статор -Елемент двигуна, на якому розташовуються обмотки. Керування безколекторним електродвигуном на БПЛА здійснюється за рахунок електронного регулятора.

Використання безколекторного електродвигуна на БПЛА обумовлено рядом причин. У конструкції безколекторного електродвигуна відсутній колектор, за рахунок чого конструкція електродвигуна істотно спрощується. У зв'язку з цим безколекторний електродвигун також володіє меншими вагою і розміром, ніж аналогічний електродвигун з колектором. У безколекторного електродвигуна вище коефіцієнт корисної дії і показник потужності на кілограм власної ваги, ніж у електродвигуна з колектором. Більш того у безколекторного електродвигуна більш широкий діапазон швидкості обертання гвинтів, що забезпечує більш широкі можливості для пілотування БПЛА і відповідно обумовлює розширення характеристик БПЛА. Дуже важливо для БПЛА те, що фактично безколекторні електродвигуни гріються менше, ніж електродвигуни з колекторами. Безколекторні електродвигуни практично не створюють радіоперешкод і відповідно практично не впливають на функціонування бортового обладнання.

Перевагою безколекторного електродвигуна також є те, що він може бути набагато менших розмірів, ніж електродвигун з колектором, тому що можливе застосування потужних і невеликих неодимових магнітів на роторі.

Єдиним недоліком безколекторного електродвигуна вважають складний дорогий електронний блок керування (електронний регулятор), за рахунок якого відбувається керування кількістю оборотів двигуна.

За рахунок того, що у безколекторного електродвигуна високий коефіцієнт корисної дії, досягається велика тривалість польоту БПЛА. Високі значення крутного моменту безколекторного електродвигуна дозволяють відмовитися від використання редуктора і забезпечують можливість використання

безпосереднього з'єднання двигуна і пропелера, що сприяє зменшенню ваги БПЛА і відповідно дозволяє встановлювати на БПЛА більше додаткового обладнання.

Як було сказано раніше, безколекторні електродвигуни не мають колектора, точніше щітково-колекторного вузла, в якому щітки і пластини колектора безперервно розмикаються, що викликає іскріння, що приводить до втрат і створює радіоперешкоди. Коефіцієнт корисної дії безколекторних електродвигунів вище, ніж у електродвигунів з колектором тому, що в електродвигуні з колектором щітки постійно труться об колектор, зношуються і підгорає, погіршуючи струмопропускну здатність щітково-колекторного вузла, що тягне за собою зменшення потужності двигуна. Варто зазначити, що частина потужності електродвигуна з колектором витрачається на подолання тертя між щітками і колектором. Відсутність щітково-колекторного вузла у безколекторного двигуна дозволяє на практиці досягти значення коефіцієнта корисної дії 95%. Відсутність щіток і колектора спрощують обслуговування двигуна, в зв'язку з тим що відсутня необхідність періодично міняти щітки і чистити колектор використовуваного електродвигуна. Ресурс безколекторного двигуна в основному залежить від підшипників ротора. За рахунок цього досягається висока надійність двигуна.

На сьогоднішній день існує велика кількість безколекторних електродвигунів, тому існує можливість підібрати електродвигун для даного БПЛА, відповідний бажаним характеристикам БПЛА. Тобто безколекторний електродвигун для БПЛА підбирається виходячи з передбачуваних маси БПЛА, швидкості польоту, тривалості польоту, енергоспоживання безколекторного електродвигуна і розмірів безколекторного електродвигуна (обумовлюються конструкцією БПЛА).

#### 1.4. Аналіз синхронного двигуна

Зазвичай, СД задіюють в якості пристрою корекції коефіцієнта потужності. У галузях вони використовуються для поліпшення коефіцієнта потужності системи. Завдяки постійній частоті обертання, незалежно від навантаження, СД використовуються в приводах для прецизійних обробних верстатів. Також їх використовують в приводах потужних насосних, компресорних і вентиляційних установок. Вони є незамінними для застосування в гідрогенераторах, турбогенераторах та електростанціях [1].

Можливість корекції коефіцієнту потужності, дозволяє використовувати СД в якості джерела реактивної енергії. Вони знаходять все більше застосування в електроприводах виробничих механізмів, що обумовлене їх високими техніко-економічними показниками. Ці двигуни володіють високим коефіцієнтом потужності, близьким до одиниці, можуть використовуватися як компенсатор реактивної потужності та покращувати якість роботи системи електропостачання, володіють високим ККД, що становить до 98 відсотків, мають абсолютно жорстку механічну характеристику, можуть регулювати перевантажувальну здатність, за рахунок корекції струму збудження. Принцип роботи СД заснований на електромагнітній взаємодії магнітного поля статора та явновираженими полюсами ротора, обмотки яких отримують живлення від джерела постійного струму. Полюси поля статора, що обертається, притягують до себе різнойменні полюси ротора, і ротор обертається з такою ж швидкістю, як і поле статора синхронної машини. СД володіє абсолютно жорсткою механічною характеристикою у межах максимального моменту, яка є прямою лінією, паралельною осі моментів. Для визначення максимального моменту, до якого зберігається синхронна залежність моменту, що розвивається машиною, від внутрішнього кута двигуна, який є кутом зсуву між ЕРС статора та напругою живлячої мережі, момент СД являє собою синусоїдальну функцію внутрішнього кута машини. Максимального значення момент двигуна досягає, коли значення кута рівне  $-\pi/2$  і характеризує собою перевантажувальну здатність двигуна. При

великих значеннях кута двигун випадає з синхронізму, а при менших – його робота стійка [1].

Для пуску СД використовується спеціальна пускова обмотка ротора, виконана у вигляді білячої клітки. Завдяки цій обмотці двигун має достатньо великий пусковий момент. Пуск двигуна може здійснитися безпосереднім включенням обмотки статора в мережу або від пониження напруги за допомогою реактора або автотрансформатора. У початковий період пуску поле статора наводить в обмотці збудження значну ЕРС, яка може викликати пробій ізоляції. Тому обмотку збудження під час пуску закорочують на резистор, опір якого в 8...10 разів перевищує власний опір обмотки. Досягнувши частоти обертання ротора, близькою до синхронної, обмотка збудження ротора підключається до джерела постійного струму. Завдяки взаємодії поля статора і струму збудження ротора, що обертається, останній набирає обороти і починає обертатися зі швидкістю, що дорівнює швидкості обертання поля, тобто синхронно з полем. Такий пуск називається асинхронним пуском синхронного двигуна. За умовами, які можуть мати місце при роботі синхронного приводу, розрізняють легкий і важкий пуск СД. Легкий пуск здійснюється при малих моментах навантаження та моментах інерції і є найбільш сприятливим відносно синхронізації двигуна з мережею. Важкий пуск має місце при відносно великих моментах навантаження та інерції. В цьому випадку для синхронізації, потрібний значний вхідний момент двигуна і його синхронізація з мережею ускладнюється[1].

При пуску використовуються два основні способи його збудження СД. При відносно невеликих моментах навантаження обмотка збудження СД протягом всього часу пуску постійно підключена до джерела збудження – збудника, який в процесі пуску самозбуджується та забезпечує втягування СД в синхронізм в кінці пуску. При пуску СД з відносно великими моментами навантаження, обмотка збудження СД спочатку замикається через активний резистор (в якості якого може використовуватися розрядний резистор обмотки збудження), а досягнувши СД підсинхронної швидкості обмотка збудження підключається до

збудника. Окрім різних способів підключення обмотки збудження пуск СД може здійснюватися при повній або зниженій напрузі мережі. В більшості випадків СД потужністю до декількох сотень кВт, а іноді і більше, пускаються прямим підключенням до мережі. Для обмеження пускових струмів і зменшення спадів напруги в мережі при пускові СД використовують реактори або автотрансформатори. Обмеження пускових струмів захищає мережу від скачків струмів, а також обмотки двигуна від підвищених динамічних навантажень, що мають місце при безпосередньому включенні в мережу. СД не може працювати у всіх гальмівних режимах. Слід зазначити, що режим рекуперативного гальмування не можливий для СД, оскільки його механічна характеристика постійна при синхронній швидкості, коли момент навантаження на його валу матиме від'ємне значення. Для цілей гальмування такий режим неприйнятний, оскільки при цьому не можна отримати зниження швидкості. Режим гальмування противмиканням використовується рідко через те, що перехід СД в цей режим супроводжується значними стрибками струму та вимагає застосування складних схем керування. Найбільш поширеним гальмівним режимом для СД є динамічне гальмування. Для реалізації такого режиму обмотку статора машини відключають від мережі вмикають на додатковий резистор, а обмотка збудження продовжує отримувати живлення від свого джерела. Механічні характеристики СД при динамічному гальмуванні подібні до механічних характеристик асинхронного двигуна в аналогічних режимах. У металургійній промисловості навантаження СД часто носить різкозмінний характер (приводи безперервних прокатних станів, ножиці, пили для металу, лебідки для доменних печей). У таких приводах необхідно забезпечувати швидке регулювання струму збудження, що нездійснено при використанні електромашинних збудників через їх велику інерцію. Для вирішення цього завдання в синхронних приводах використовуються напівпровідникові збудники з тиристорів, оскільки їх швидкодія в декілька разів вища ніж в електромашинних збудників [1].

Розглянемо деякі з переваг та недоліків, пов'язаних з синхронними двигунами.

Переваги:

1. Однією з основних переваг використання синхронного двигуна є можливість керування коефіцієнтом потужності. Збуджений синхронний двигун може мати випереджаючий коефіцієнт потужності та працювати паралельно з асинхронними двигунами та іншими запізнілими навантаженнями коефіцієнта потужності, тим самим покращуючи коефіцієнт потужності системи [1].

2. У синхронному двигуні швидкість залишається постійною, незалежно від навантаження. Ці характеристики допомагають в промислових приводах, де потрібна постійна швидкість незалежно від навантаження на валу.

3. Синхронні двигуни можуть бути побудовані з більш широкими повітряними зазорами, ніж асинхронні двигуни, що робить їх механічно більш стійкими.

4. У синхронних двигунах електромагнітна потужність змінюється лінійно з напругою.

5. Синхронні двигуни зазвичай працюють з більш високою ефективністю (більше 90%), особливо в ситуаціях з низькою швидкістю і одиничним коефіцієнтом потужності, в порівнянні з асинхронними двигунами.

6. Простота конструкції, та експлуатації. Як наслідок, дешевизна виробництва, та відносно недорога вартість технічного обслуговування, в порівнянні з іншими типами двигунів.

Недоліки:

1. СД вимагають збудження постійним струмом, який повинен живитися від зовнішніх джерел.

2. СД за своєю природою не можуть запускатися самостійно, тому вимагають деякого пристрою для їх запуску та синхронізації.

3. Вартість за кВт потужності, як правило, вище, ніж у асинхронних двигунів.



4. Ці двигуни не призначені для використання у системах зі змінною швидкістю, так як не мають можливості регулювати швидкість, для цього потрібно використовувати додаткові пристрої регулювання частоти.

5. Синхронні двигуни не можуть бути запущені під навантаженням. Його пусковий момент дорівнює нулю.

6. Коли навантаження на синхронний двигун зростає до межі, синхронізм між обертовим магнітним полем ротора і статора втрачається, і двигун зупиняється. [1]

Проаналізувавши характеристики синхронного двигуна, можна зробити висновок, що він володіє великою кількістю переваг, якими не володіють інші типи двигунів. Ми можемо виділити два основних недоліки двигуна, які сильно обмежують область його застосування. Першим є складність його запуску, навіть без навантаження на валу. Наступним, та основним недоліком є відсутність можливості регулювання швидкості двигуна.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗБІР ОСОБЛИВОСТЕЙ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПРИВОДАМИ. МЕТОД ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ

#### 2.1. Основи керування регульованими електричними приводами

Проаналізувавши ринок електродвигунів, можна побачити тенденцію до поступового витіснення синхронними двигунами їх асинхронних попередників та колекторних двигунів. Але враховуючи це, системи керування електроприводом на базі синхронного електродвигуна займають порівняно невеликий сектор систем керування на ринку. Характеристики, та експлуатаційні особливості синхронного двигуна роблять його майже ідеальним вибором для енергоефективного електродвигуна з широким діапазоном регулювання. Більшість систем керування, включаючи перетворювачі частоти, призначені для роботи лише з асинхронними двигунами, а виробники, які використовують у своїх продуктах синхронні двигуни, розробляють вузькоспеціалізовані електродвигуни та системи керування для задоволення своїх потреб, такі системи керування важко адаптувати для сторонніх рішень. Часто розробникам та інженерам, які використовують в своїх розробках синхронні електродвигуни які потребують керування, доводиться розробляти системи керування для них самостійно. Це робить важливим розробку системи керування синхронними двигунами, яка може бути адаптована до конкретних задач а також може бути легко інтегрована в більш складні автоматичні та автоматизовані системи керування. У сучасних регульованих електродвигунах плавне регулювання швидкості, положення та крутного моменту в певному діапазоні досягається регулюванням електричних параметрів (струму, частоти та напруги), які подаються на обмотки якоря. Для регулювання цих параметрів потрібно використовувати напівпровідникові перетворювачі (керовані випрямлячі та перетворювачі частоти) [14].

Для керування електроприводом використовуються електронні пристрої керування або мікропроцесорні пристрої [1].

Залежно від призначення та технічних вимог електродвигуна існує два варіанти побудови систем керування: відкриті (розімкнені) системи керування та закриті (замкнуті) системи керування [1].

Розімкненою системою регулювання електроприводу називають систему, у якій відсутній зворотний зв'язок вихідної регульованої величини. Блок-схема даної системи приведена на (рис. 2.1). У приведеній системі фактичне значення регульованої величини сильно залежить від збурень діючих на елементи системи та робочий орган, так як сигнал керування не залежить від відхилення регульованої координати від заданого значення. Основним видом збурюючого впливу є зміна моменту опору на робочому органі приводу. Збурюючі впливи можуть бути різного характеру, наприклад, зміна напруги живлення [1].

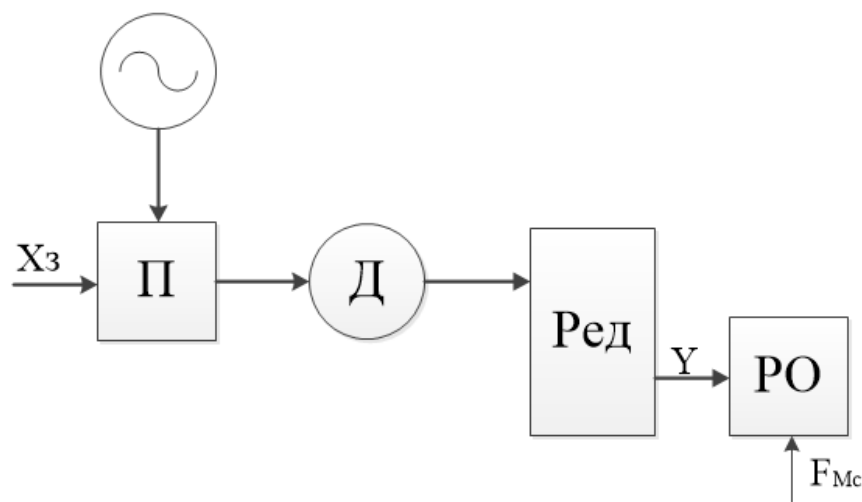


Рис 2.1. Функціональна схема розімкненої системи регулювання електроприводом

Замкнутою системою регулювання електричного приводу, називають систему, яка має зворотній зв'язок вихідної величини. В такій системі сигнал керування формується в залежності від вхідного сигналу, та сигналу зворотного зв'язку, який надає інформацію про фактичне значення вихідної величини, він в

свою чергу залежить від збурень, які діють на елементи системи та на сам робочий орган. Управляючий сигнал системи з від'ємним зворотнім зв'язком являє собою відхилення регулювання, від заданих вхідних значень. При цьому значення збурюючих величин не вимірюються, а їх вплив на регульований параметр передається по каналу зворотного зв'язку [1].

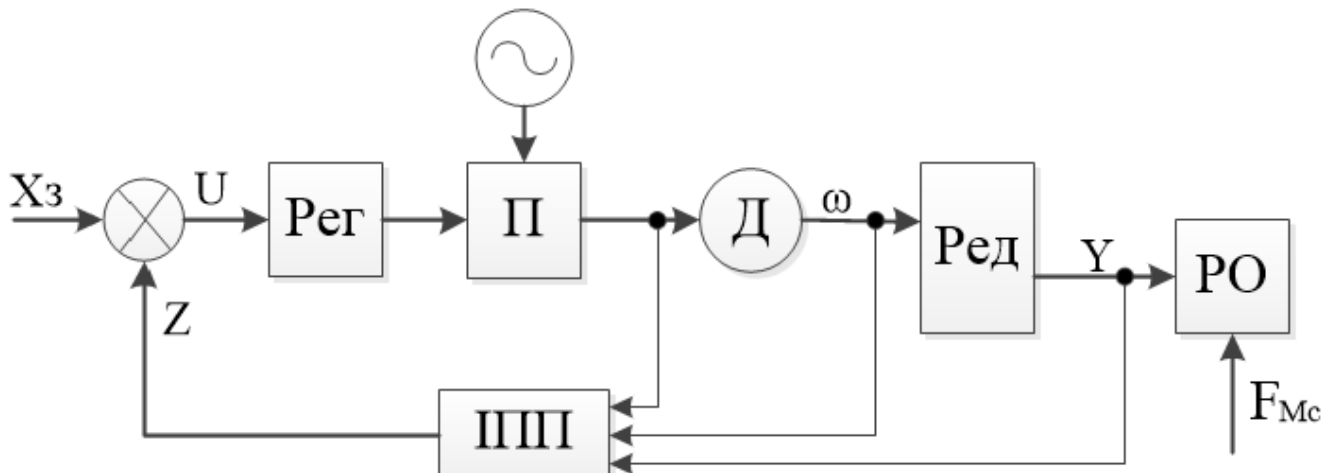


Рис. 2.2. Функціональна схема замкнутої системи регулювання електроприводом

Зворотнім зв'язком називають канал передачі та перетворення інформації з виходу системи регулювання або її вузлів на вхід з метою формування результуючого сигналу керування. Рівняння сигналу керування має вигляд:

$$U = X_3 \pm Z,$$

де,  $U$  – сигнал керування;

$X_3$  – вхідний сигнал;

$Z$  – сигнал зворотного зв'язку.

За характером дії зворотні зв'язки бувають жорсткі, гнучкі та нелінійні зворотні зв'язки із зоною нечутливості, які інакше називаються зв'язками із відсіченням. Якщо зворотний зв'язок діє тільки під час перехідних процесів, то його називають гнучким. Якщо ж зворотний зв'язок починає діяти тільки з певного рівня регульованого параметра, то такий зворотний зв'язок називається затриманим або зворотним зв'язком з відсіченням. Жорсткі зворотні зв'язки та

зворотні зв'язки з відсіченням зазвичай використовуються для формування статичних характеристик електроприводу. Крім того, жорсткі і особливо гнучкі зворотні зв'язки застосовуються для забезпечення стійкості системи регулювання та отримання бажаних динамічних показників, що характеризують протікання перехідних процесів при впливі на систему вхідних сигналів та збурень. У замкнутих систем регулювання електроприводів майже завжди використовується від'ємний зворотний зв'язок по швидкості, як головний зворотній зв'язок контрольованого параметру [1].

## **2.2. Методи частотного керування електроприводами змінного струму**

Системи керування електродвигунами змінного струму розроблені з використанням інверторів змінного струму та перетворювачів частоти. Застосування цих елементів дозволяє створити системи керування, що забезпечують контроль швидкості і крутного моменту електродвигуна, а також формування необхідних статичних і динамічних характеристик, поліпшення потужності, технічні та економічні показники. Розглянемо детальніше типи регулювання електродвигунів змінного струму за допомогою перетворювачів частоти [1].

Відомо, що найкращим способом керування швидкістю обертання асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором та синхронного двигуна є зміна частоти напруги живлення. Довгий час не було простого і дешевого способу керування частотою, тому для керування використовувався метод зміни числа полюсів двигуна. Регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна дозволяє використовувати асинхронний двигун з фазною обмоткою (з контактними та щітковими кільцями), оскільки обертання ротора і швидкість цього двигуна обернено пропорційні опору кола ротора. Однак у цьому випадку є значні втрати змінного опору ротора [1].

На сьогоднішній день регулювання частоти для асинхронних машин є основним методом регулювання швидкості, а перетворювачі частоти -

основними компонентами електродвигунів. Традиційно перетворювач частоти призначений для плавного керування напругою та частотою двигуна. Але сучасні перетворювачі частоти мають ряд функцій. Загалом перетворювач частоти асинхронного двигуна є складною системою. Перетворювач частоти складається з перетворювача, датчиків та системи керування. Система керування здатна управляти оператором або складними автоматичними схемами технологічного процесу. За допомогою мережевого інтерфейсу перетворювач частоти можна використовувати в автоматичних багаторівневих системах. Сучасні перетворювачі частоти мають простий у використанні інтерфейс для керування роботою приводу [1].

Необхідність перетворювачів частоти в електродвигунах з'явилася після винаходу асинхронного двигуна. Оскільки для цього використовували машинні трансформатори. Машинний трансформатор складається з двигуна постійного струму зі змінною швидкістю, механічно підключеного до синхронного генератора. Цей перетворювач, будучи джерелом живлення для приводу з регульованою швидкістю, був дуже дорогим та економічно неефективним. Після винаходу тиристора (1956) ідея розробки перетворювачів з фіксованою частотою (без обертових машин) стала реалістичною. На початку 1960-х років були створені перші тиристорні перетворювачі частоти. Тоді ж на кафедрі електродвигунів та силової електроніки Талліннського технічного університету був побудований перший експериментальний тиристорний перетворювач частоти. Однак використання перетворювачів частоти в промислових приводах тривалий час було дуже повільним. Основною причиною стала висока ціна і низька надійність тиристорних перетворювачів частоти. Поява потужних транзисторів, таких як біполярні транзистори з ізольованим затвором, суттєво змінило ситуацію. Сьогодні частотно-регульовані двигуни використовуються майже скрізь, оскільки раніше використовувались лише двигуни постійного струму [1].

Частотний регулятор традиційно призначений для регулювання крутного моменту двигуна, швидкості обертання або положення валу (кута повороту) за

допомогою замкнених або розімкнених ланцюгів керування, за умови, що вихідна напруга і частота змінюються відносно повільно і двигун працює безперервно. Системи керування зворотним зв'язком дозволяють підвищити точність вимірювання вихідних сигналів і поліпшити динамічні властивості. У перетворювачах із звичайним керуванням тривалість прискорення та уповільнення дуже обмежена [1].

Під час звичайного регулювання частоти рівень перевантаження асинхронного двигуна досить малий (у 2-2,5 рази). Різка і значна зміна навантаження двигуна може призвести до відмови асинхронного двигуна. Потім двигун зупиняється або обертається на дуже низькій швидкості. Втрати двигуна зростають, а температура обмоток різко підвищується. З цих причин звичайні інвертори частоти використовуються для керування безперервними пристроями, такими як насоси, вентилятори охолодження та компресори [1].

Сучасні високошвидкісні електродвигуни управляються методом векторного керування. Керування вектором базується на керуванні вектором обертового поля в електричній машині. Тому векторне керування називається керуванням напрямком поля. Звичайне регулювання частоти можна назвати стандартним керуванням, оскільки воно базується на вимірюванні ефективних значень частоти та напруги [1].

Скалярне керування є досить поширеним методом, і його діапазон пов'язаний з двигунами насосів та вентиляторів. Крім того, перетворювачі частоти зі стандартним методом керування використовуються у випадках, коли системі потрібно підтримувати певний технологічний параметр. Наприклад, це може бути тиск у трубопроводі. Зміна амплітуди та частоти напруги живлення служить головним принципом, від якого залежить цей метод [1].

Скалярний метод простий і порівняно простий у реалізації, але він має важливий недолік, оскільки неможливо точно контролювати швидкість обертання валу, а перетворювач частоти зі стандартним керуванням не дозволяє контролювати крутний момент [1].

Векторне керування - це метод керування двигуном, який не тільки генерує змінні струми (напруги) у фазах, але також забезпечує керування магнітним потоком ротора, тобто крутним моментом на валу двигуна. Цей тип керування використовується в тих випадках, коли навантаження може змінюватися під час роботи на одній і тій же частоті, тобто немає чіткої залежності між крутним моментом навантаження та швидкістю, а також у випадках, коли необхідно отримати розширений діапазон регулювання частоти при номінальному моменті. Перевагами методу векторного керування є швидкість реакції щодо зміни навантаження, а в області низьких частот обертання двигуна цей тип керування характеризується плавністю та відсутністю вібрації [1].

### **2.3. Основні принципи векторного керування**

Векторне керування є методом керування синхронними і асинхронними двигунами, не тільки формує гармонійні струми фаз (як при скалярному управлінні), але і забезпечує керування магнітним потоком ротора, іншими словами, положенням вектора магнітного потоку в просторі. ВУ трифазним двигуном дозволяє керувати ним аналогічно управлінню двигуном постійного струму [1].

Основні переваги векторного керування:

- точність регулювання швидкості;
- плавний старт та обертання двигуна у всьому діапазоні частот;
- стабільна швидкість при зміні моменту навантаження;
- високий діапазон регулювання;
- більш високий ККД двигуна.

Для розуміння даного типу керування потрібно мати уявлення про системи координат, що використовуються при векторному керуванні. [1]

Нерухома трифазна система координат АВС (рис. 2.3). Система має три осі, розташовані під кутом 120 градусів один до одного і пересічні на початку координат. Можна сказати, що осі цієї системи збігаються з електричними осями



обмоток двигуна. Струм двигуна в цій системі можна уявити як вектор, що обертається навколо початку координат, а його проекції на осі системи координат пропорційні миттєвим струмів в фазах [1].

Наприклад, трифазний струм в обмотках статора двигуна можна представити у вигляді вектора  $I_S$ , з такими властивостями:

- амплітуда вектора рівна амплітуді струму у фазі  $I_S$ ;
- початок вектора співпадає з початком координат;
- вектор обертається на площині навколо початку координат з кутовою швидкістю, яка відповідає частоті змінного струму.

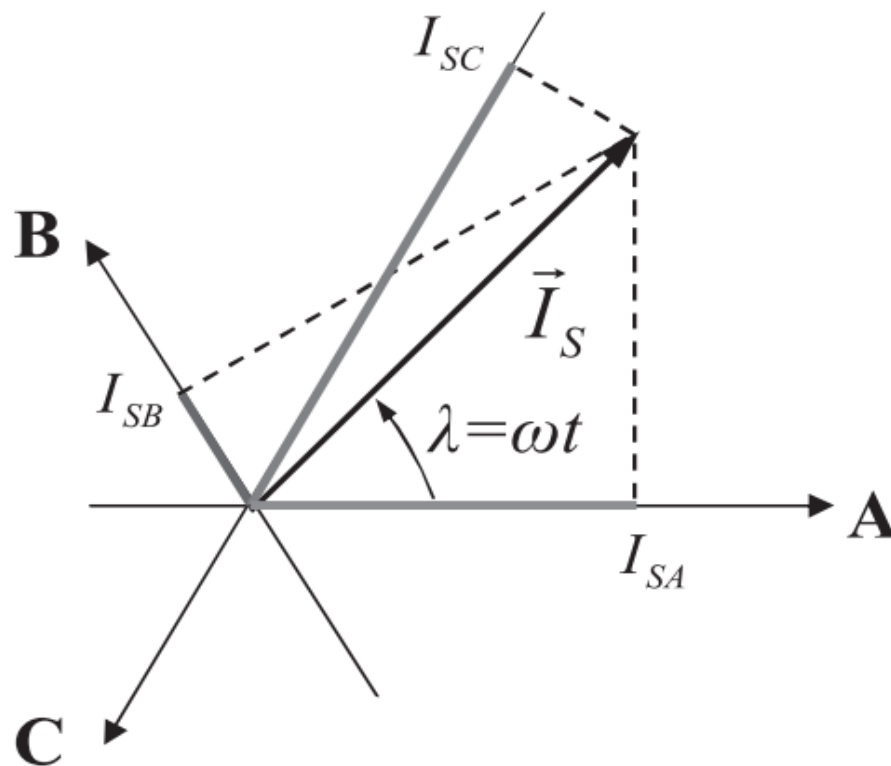


Рис. 2.3. Нерухома система координат ABC

$$I_{SA} = I_S \cos \lambda = I_S \cos \omega t;$$

$$I_{SB} = I_S \cos(\lambda - 120^\circ) = I_S \cos(\omega t - 120^\circ);$$

$$I_{SC} = I_S \cos(\lambda - 240^\circ) = I_S \cos(\omega t - 240^\circ),$$

де,  $I_{SA}$ ,  $I_{SB}$ ,  $I_{SC}$  – значення струму кожної фази;

$I_S$  – загальний вектор струму.

Нерухома Декартова система координат  $\alpha\beta$  (рис. 2.5). Система має дві перпендикулярні осі  $\alpha$  і  $\beta$ . Одна вісь системи збігається з однією з трифазних осей ABC, а початок координат збігається з трифазною системою. Перехід з трифазної системи в Декартову (двофазну) часто називають переходом від реальної трифазної машини до абстрактної, узагальненої двофазної. Перехід з трифазної системи в Декартову називають також перетворенням Кларка [1].

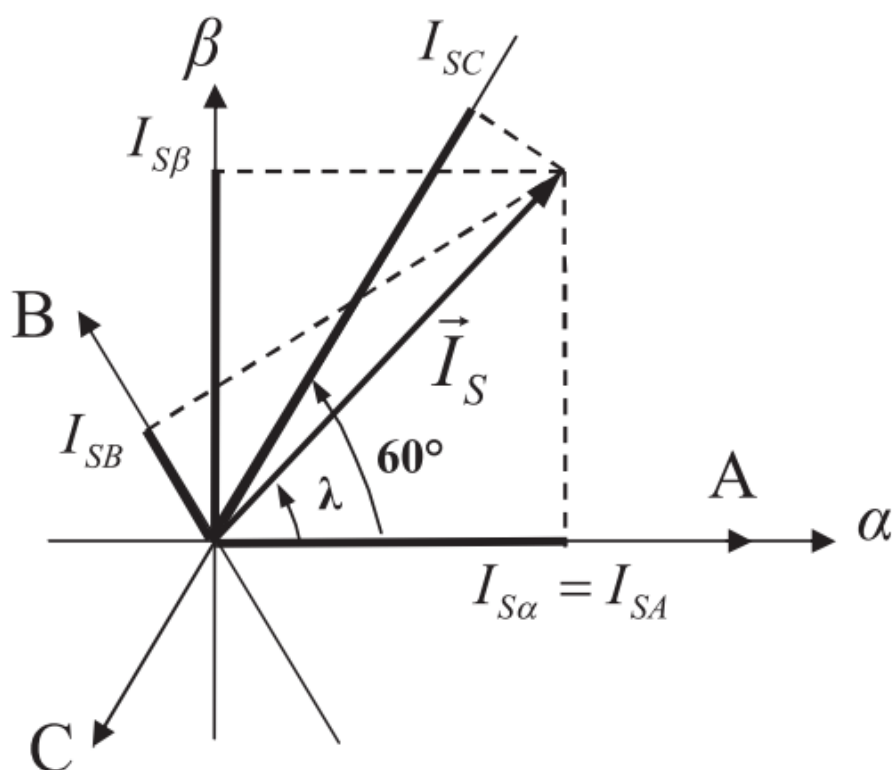


Рис. 2.4. Нерухома Декартова система координат

Формули координатних перетворень при переході з трифазної системи координат в двофазну, мають наступний вигляд:

$$\begin{cases} I_{S\alpha} = I_{SA} \\ I_{S\beta} = \frac{I_{SB} - I_{SC}}{\sqrt{3}} \end{cases}$$

де,  $I_{S\alpha}$ ,  $I_{S\beta}$  – значення вектора струму, в координатній площині  $\alpha\beta$ .

Обертова система координат  $dq$  (рис. 2.6). Система має дві перпендикулярні осі  $d$  і  $q$ , початок координат системи збігається з початками координат описаних вище систем. Осі системи обертаються навколо початку

координат зі швидкістю обертання ротора. Перехід з нерухомої системи в обертову називають перетворенням Парка.

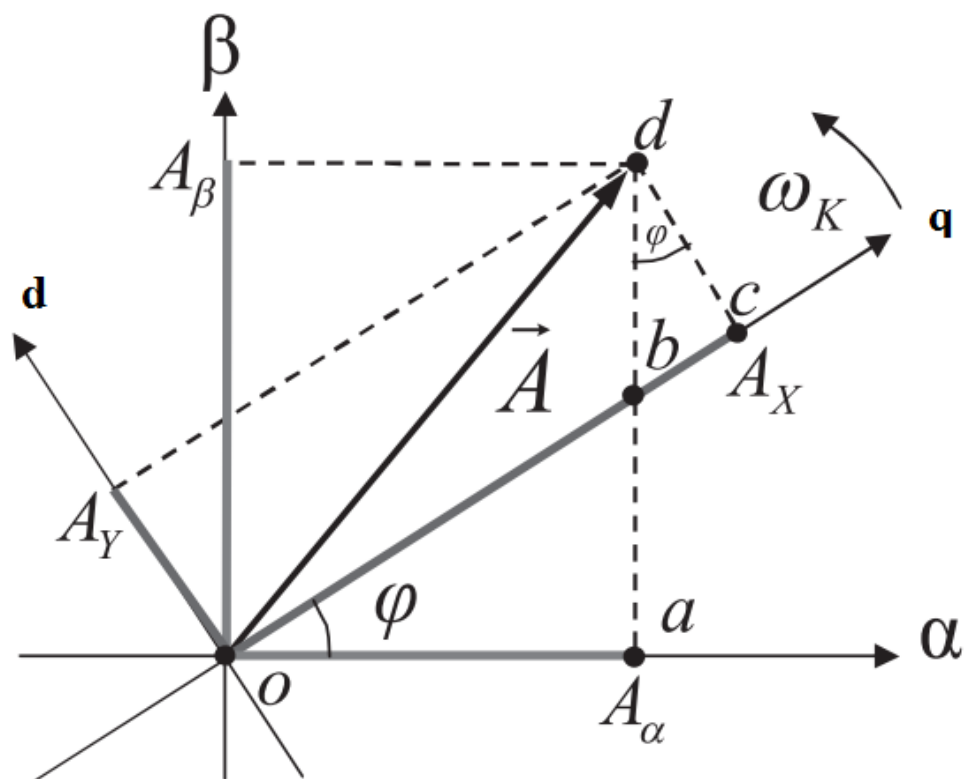


Рис. 2.5. Обертова система координат dq

Система рівнянь для переходу від координатної площини  $\alpha\beta$  до обертової системи dq має наступний вигляд:

$$\begin{cases} A_d = A_\beta \sin\varphi + A_\alpha \cos\varphi \\ A_q = A_\beta \cos\varphi - A_\alpha \sin\varphi \end{cases}$$

Можливе також зворотне перетворення Парка:

$$\begin{cases} A_\alpha = A_d \cos\varphi - A_q \sin\varphi \\ A_\beta = A_d \sin\varphi + A_q \cos\varphi \end{cases}$$

де,  $A_d, A_q$  – значення вектора струму в системі dq;

$A_\beta, A_\alpha$  – значення вектора струму в системі  $\alpha\beta$ .

Суть обертової системи координат полягає в тому, що система керування будується в координатах, що обертаються разом з керованим вектором. Та оскільки керований вектор не обертається відносно системи координат, то його амплітуда і фаза визначається тільки двома скалярними величинами – його проекціями на осі  $d$  та  $q$ .

#### 2.4. Математичний опис синхронного двигуна з постійними магнітами

При побудові математичної моделі синхронного двигуна з постійними магнітами приймемо такі припущення:

- відсутнє насичення магнітного кола, втрати в сталі, ефект витіснення струму;
- обмотки статора симетричні;
- індуктивність розсіювання не залежить від положення ротора в просторі.

Рівняння синхронної машини з постійними магнітами також розглянемо в ортогональній синхронній системі координат  $(d, q)$ , вісь  $d$  якої орієнтована по магнітній осі ротора (Рис. 2.6).

У цьому випадку вони приймають такий вигляд:

$$U_d = \frac{d\Psi_d}{dt} - \Psi_q\omega + R_s I_d; \quad (2.1)$$

$$U_q = \frac{d\Psi_q}{dt} + \Psi_d\omega + R_s I_q; \quad (2.2)$$

$$\Psi_d = L_d I_d + \Psi_f; \quad (2.3)$$

$$\Psi_q = L_q I_q; \quad (2.4)$$

$$M = \frac{3}{2} Z_p (\Psi_d I_q - \Psi_q I_d); \quad (2.5)$$

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{1}{J} (M - M_C - \beta\Omega); \quad \Omega = \frac{\omega}{Z_p}. \quad (2.6)$$

В представлених рівняннях,  $I_d$ ,  $I_q$ ,  $U_d$ ,  $U_q$  - струми і напруги статора по осях  $d$  і  $q$ ;  $M$ ,  $M_c$  - електромагнітний і навантажувальний моменти;  $\omega$  - електрична частота обертання ротора;  $J$  - момент інерції ротора;  $\beta$  - коефіцієнт в'язкого тертя (коефіцієнт демпфірування);  $\Psi_d$ ,  $\Psi_q$ ,  $\Psi_f$  - потокозчеплення статора по осях  $d$  та  $q$  і створюване постійним магнітом;  $L_d$ ,  $L_q$  - індуктивності обмотки статора по поздовжній і поперечній осях ротора;  $R_s$  - активний опір обмотки статора.

На роторі синхронного двигуна розташована однофазна обмотка збудження, яка живиться від джерела постійного струму (збудника), або за допомогою постійних магнітів.

Швидкість двигуна в усталеному режимі завжди дорівнює синхронній швидкості  $\omega_0$ , яка однозначно визначається значенням частоти напруги живлення та числом пар полюсів обмотки статора, тобто дорівнює  $\omega_0/Z_p$ . Миттєве відхилення швидкості двигуна від синхронної має місце лише в перехідних процесах, викликаних, наприклад, зміною навантаження на валу двигуна. [3]

Синхронні двигуни в залежності від їх конструктивного виконання поділяють на двигуни з явнополюсним і неявнополюсним роторами. Конструктивною відмінністю машини з явнополюсним ротором і машини з неявнополюсним є те, що в першому випадку індуктивності обмотки статора по прямій осі, яка збігається з віссю полюсів ротора і позначена як вісь  $q$ , і по осі, що позначається як вісь  $d$ , неоднакові. У другому випадку ці індуктивності рівні один одному. Крім обмотки збудження на роторі традиційних синхронних машин є короткозамкнута демпферна обмотка. Ця обмотка забезпечує пуск синхронного двигуна і сприяє демпфіруванню коливань ротора, що виникають в перехідних процесах. У сталому синхронному режимі, коли швидкість поля статора і швидкість ротора рівні, струм в демпферній обмотці відсутній.

В даній роботі використовується двигун з постійними магнітами на роторі, його модуль представлена на малюнку (рис. 2.6). [3]

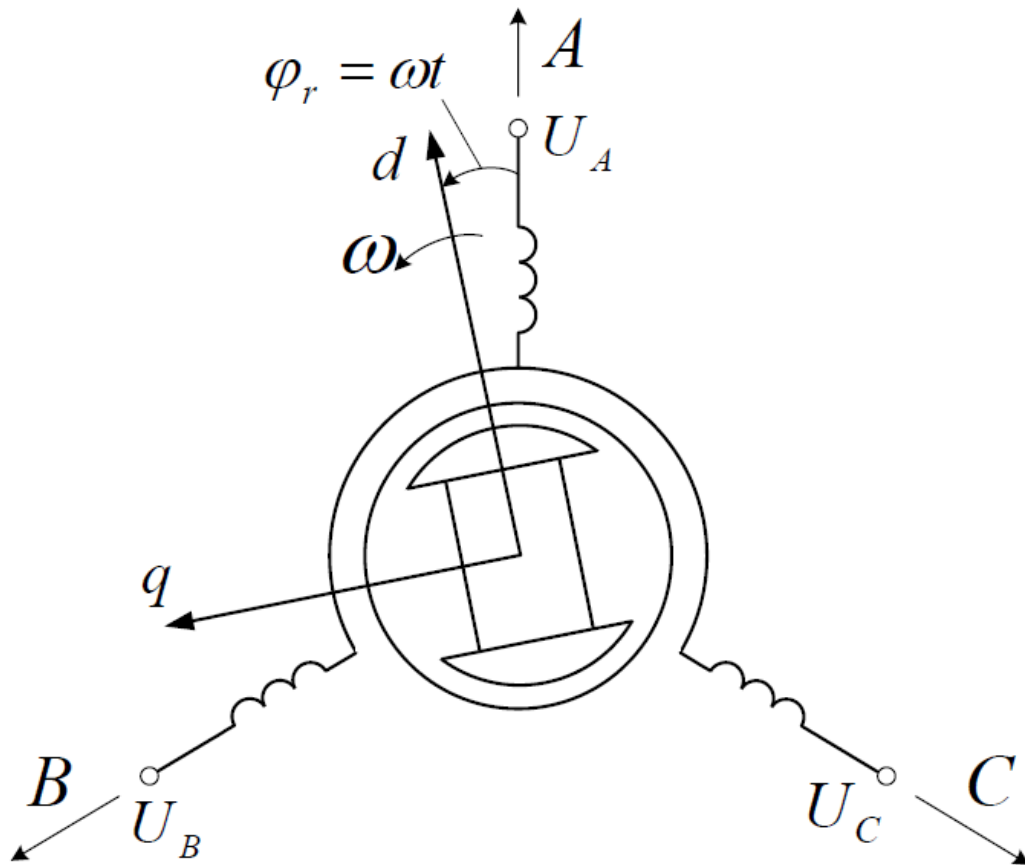


Рис. 2.6. Модель синхронного двигуна з постійними магнітами

Записавши формули (2.1) – (2.6), відносно  $I_d$ ,  $I_q$ , отримаємо:

$$\frac{dI_d}{dt} = \frac{1}{L_d} (U_d - R_s I_d + \omega L_q I_q); \quad (2.7)$$

$$\frac{dI_q}{dt} = \frac{1}{L_d} (U_q - R_s I_q + \omega L_d I_d - \omega \Psi_f); \quad (2.8)$$

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{1}{J} (M - M_c - \beta \Omega); \quad \omega = Z_p \Omega; \quad (2.9)$$

$$M = \frac{3}{2} Z_p (\Psi_f I_q + (L_d - L_q) \Psi_q I_d). \quad (2.10)$$

В окремих випадках випадку неявнополюсної конструкції ротора двигуна присутня наступна залежність:  $L_d = L_q = L_s$ .

## 2.5. Характеристики синхронного двигуна з постійними магнітами

Електродвигун з постійними магнітами для безпілотного літального апарату представляє собою електричну машину, принцип дії якої базується на взаємодії обертового магнітного поля статора і поля від постійних магнітів ротора. В якості постійних магнітів використовуються матеріали з високою коерцитивною силою, наприклад самар-кобальт SmCo або неодим-залізо-бор Nd-Fe-B [2].

Крім того, в конкретному випадку електродвигун для БПЛА є електродвигуном оберненого типу - ротор розташовується зовні статора електродвигуна.

В якості вихідних даних для розрахунку електродвигуна БПЛА використовувалися наступні параметри:

- максимальний крутний момент  $M = 45 \text{ Н*см}$ ;
- частота обертання  $n = 6000 \text{ об / хв}$ ;
- напруга живлення  $U_H = 12,2 \text{ В}$ ;
- коефіцієнт корисної дії  $\eta = 86\%$ ;
- габаритні розміри - довжина 54 мм, діаметр 46 мм.

Для детального розуміння функціонування двигуна даного типу, розіб'ємо його на складові (Рис 2.7).

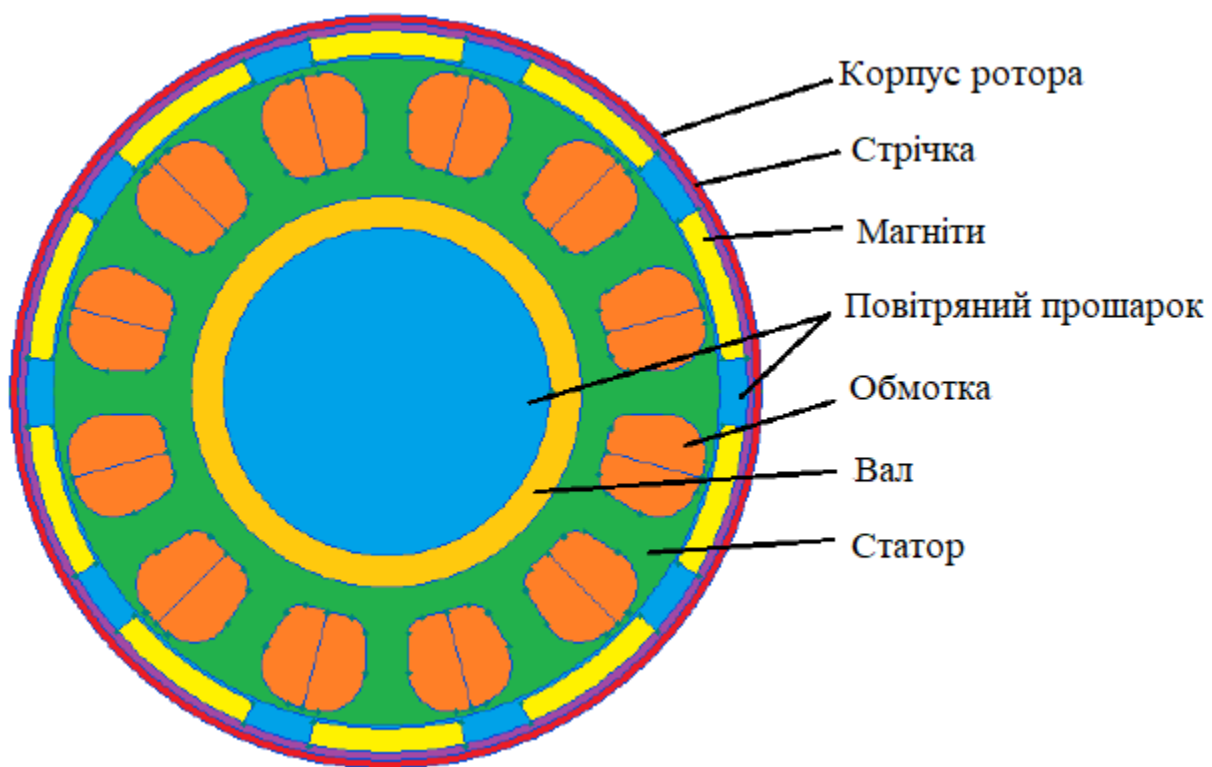


Рис. 2.7. Модель синхронного електродвигуна для БПЛА



## РОЗДІЛ 3

### АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ

#### 3.1. Структура векторного керування

Система векторного керування, по суті, є системою регулювання моменту двигуна. Оскільки рівняння механічної рівноваги двигуна показує, що вал двигуна обертається з постійною швидкістю в тому випадку, якщо момент, що розвивається двигуном та момент опору навантаження рівні. В іншому разі двигун буде або розганятися або гальмуватися. Момент двигуна створюється внаслідок взаємодії струму та потокозчеплення статора. Для трифазного двигуна момент визначається виразом:

$$M = \frac{3}{2} Z_p I_S \psi_S,$$

де  $Z_p$  – число пар полюсів;

$I_S$  – статорний струм двигуна;

$\psi_S$  – потокозчеплення статора.

Або через кут між векторами:

$$M = \frac{3}{2} Z_p |\vec{I}_S| |\vec{\psi}_S| \sin \varphi,$$

Або в координатних площинах dq:

$$M = \frac{3}{2} Z_p (I_{Sq} \psi_d - I_{Sd} \psi_q),$$

де  $Z_p$  – число пар полюсів;

$I_{Sq}$  – складова вектора струму на вісі q;

$I_{Sd}$  – складова вектора струму на вісі d;

$\psi_q$  та  $\psi_d$  – потокозчеплення на відповідних вісях координат.

До розгляду буде взятий синхронний двигун з неявно полюсним ротором. У такого двигуна, індуктивності статора по осям  $d$  та  $q$  рівні, тоді вираз моменту такого двигуна матиме наступний вигляд:

$$M = \frac{3}{2} Z_p I_{sq} \psi_f ,$$

де,  $I_{sq}$  – складова вектора струму на вісі  $q$ ;

$\psi_f$  – загальне потокозчеплення ротора двигуна.

З цього виразу видно, що при постійному потоці ротора (постійного магніту), момент двигуна залежить тільки від  $q$  – складової статорного струму. А  $d$  – складова є паразитною, вона не створює момент, а тільки викликає додаткові втрати. Таким чином, керувати моментом двигуна можна, керуючи  $q$  – складовою статорного струму, підтримуючи  $d$  – складову рівною нулю. На малюнку (рис. 3.1) зображена загальна структура векторного керування [1].

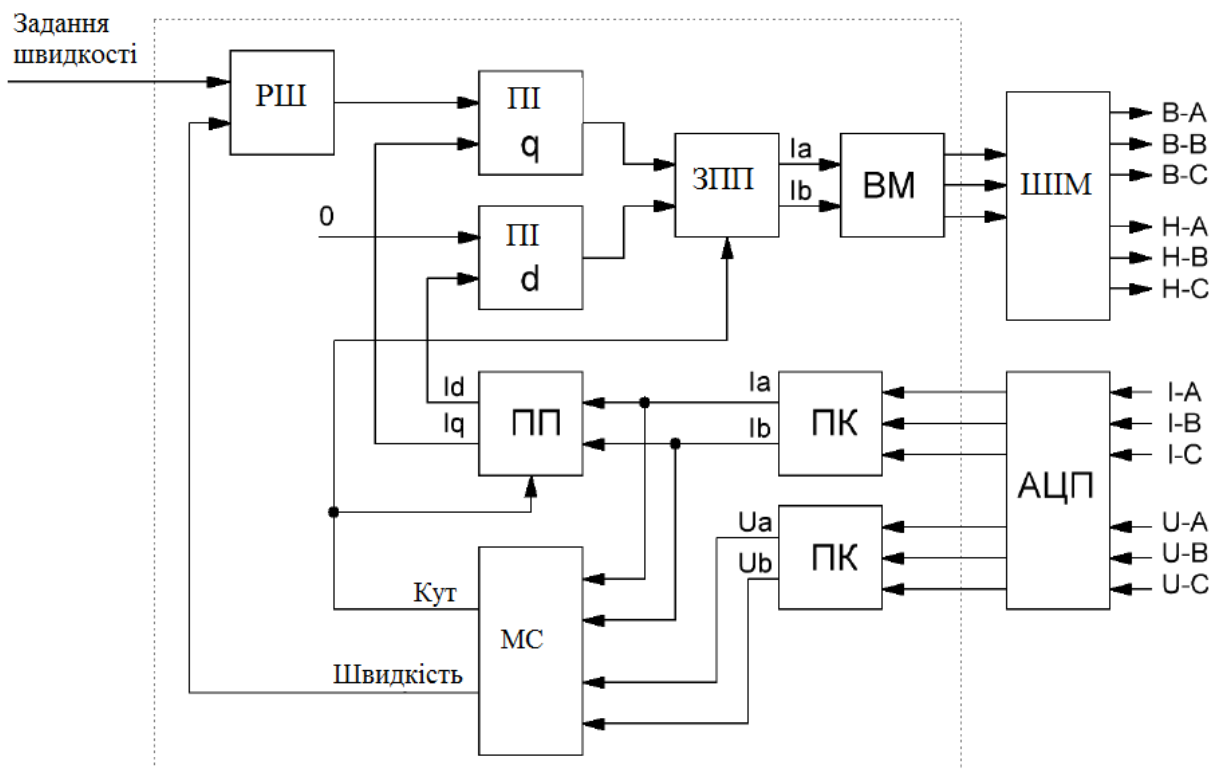


Рис. 3.1. Функціональна схема системи векторного керування

Для реалізації ВУ вимірюються миттєві значення струму в трьох фазах двигуна. Після чого виконується перетворення спочатку з трифазної системи в

Декартову (перетворення Кларка, ПК на схемі), а потім з Декартової у обертову (перетворення Парка, ПП). В результаті отримуємо два сигнали струму –  $I_d$  і  $I_q$ . Ці значення струму надходять на пропорційно-інтегральні регулятори (на схемі - ПІ<sub>q</sub> та ПІ<sub>d</sub>). Сигнали з виходів регуляторів перетворюються в Декартову систему координат (зворотне перетворення Парка, ЗПП). Просторово – векторний модулятор (ВМ) здійснює розрахунок необхідної тривалості включення силових ключів, а також послідовність комутації, для реалізації розрахункового вектора струму в просторі, тобто безпосередньо в обмотках двигуна. Регулятор швидкості (РШ), що забезпечує підтримку заданої швидкості обертання валу двигуна, являє собою паралельний ПІ – регулятор. Сигналом завдання швидкості є зовнішній сигнал, задається користувачем або системою керування верхнього рівня. В якості зворотного зв'язку для швидкості використовується сигнал, пропорційний поточній швидкості двигуна, розрахованої за допомогою модуля стану (МС) як похідна від кута повороту ротора. Вихідний сигнал регулятора швидкості є сигналом завдання моменту двигуна. У даній системі реалізована так звана система підлеглого регулювання координат [1].

Модуль стану використовується для визначення кута повороту ротора (МС). Він розраховує поточний кут повороту ротора двигуна, опираючись на виміряні значення миттєвих струмів та напруг двигуна. Одночасно він виконує розрахунок швидкості і моменту, що розвивається двигуном. Усі обчислення виконуються, спираючись на математичну модель двигуна [1].

### 3.2. Основна ідея побудови системи регулювання швидкості синхронного двигуна з неявно полюсним ротором

Неявно полюсний ротор синхронного двигуна влаштований так, що індуктивності статора по осях  $d$  та  $q$ , мають рівні значення. Дивлячись на рівняння моменту для такого ротора, можна зробити висновок, що при фіксованому магнітному потоці ротора момент залежить тільки від  $q$  – складової статорного струму, а  $d$  – складова струму вважається паразитною, вона не створює момент, а лише викликає додаткові втрати в двигуні. Отже, при регулюванні моменту вектор статорного струму необхідно оптимально орієнтувати по осі  $q$ . Його векторна діаграма представлена на малюнку (рис. 3.2).

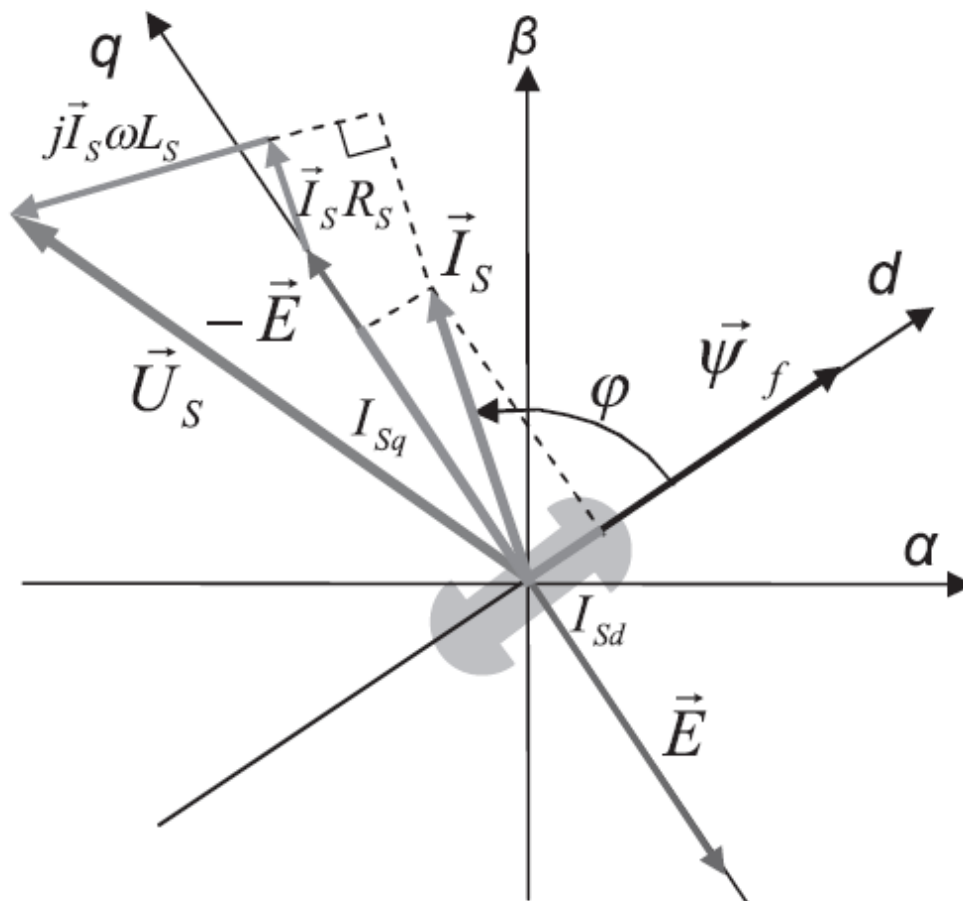


Рис 3.2. Векторна діаграма синхронного двигуна з неявно полюсним ротором

Якщо струм статора орієнтувати по осі  $q$ , то він виражається через момент двигуна за наступним рівнянням:

$$|\vec{I}_S| = I_{Sq} = \frac{2M}{3Z_p\psi_f},$$

Векторний регулятор струму будується в обертальній системі координат  $dq$  і складається з регуляторів  $d$  і  $q$  проєкцій струму. За допомогою  $q$  – складової струму забезпечується, відповідно необхідний момент, а  $d$  – складова підтримується рівною нулю, що забезпечує потрібну орієнтацію вектора струму. В якості зворотного зв'язку регулятор використовує вимірний і перетворений в систему координат  $dq$  вектор статорного струму. Векторний регулятор струму формує в системі  $dq$  вектор напруги статора, який в свою чергу, має забезпечити збіг заданого та реального векторів струму статора. Після чого за допомогою координатних перетворень вектор напруги статора перетворюється в нерухому систему координат, пов'язану зі статором, де він реалізується за допомогою блоку ШІМ [1].

### **3.3. Розбір структури та моделі системи векторного керування синхронним двигуном**

Дана схема має два вхідні сигнали, перший –  $\omega_{зад}$ , представляє вхідну швидкість, яка задається оператором, або системою контролю верхнього рівня, другим сигналом, є значення струму  $i_d$ , цей сигнал відображає значення струму на вісі  $d$ , яке є паразитним, оскільки не створює корисний момент, тому воно має бути рівним нулю. Вихідним сигналом ПІ регулятора швидкості є значення струму для вісі  $q$ , даний сигнал визначається порівнянням поточної та заданої кутових швидкостей ротора. Далі, сигнали струму проходять через суматори, та обробляються в ПІ регуляторах, кожен з яких відповідає за певну з осей  $d$  та  $q$ . Вихідні сигнали регуляторів надходять на блок координатних перетворень, який виконує зворотне перетворення Парка, для переведення вхідних сигналів, в

Декартову систему координат. Вихідні сигнали надходять на блок ШІМ, який відповідає за обчислення скважностей та вмикання відповідних мостових ключів кожної з трьох фаз двигуна. Блок фазних перетворень являє собою пристрій для перетворення значень струмів кожної з трьох фаз двигуна, в Декартову систему координат  $\alpha\beta$ , після чого вони перетворюються в блоці координатних перетворень, з Декартової, в рухому координатну площину  $dq$ . Також система включає датчик положення ротора, який подає сигнал на перетворювач ДПР. Він, в свою чергу являє собою тахогенератор, що перетворює значення частоти обертання ротора, в сигнал що подається на суматор [1].

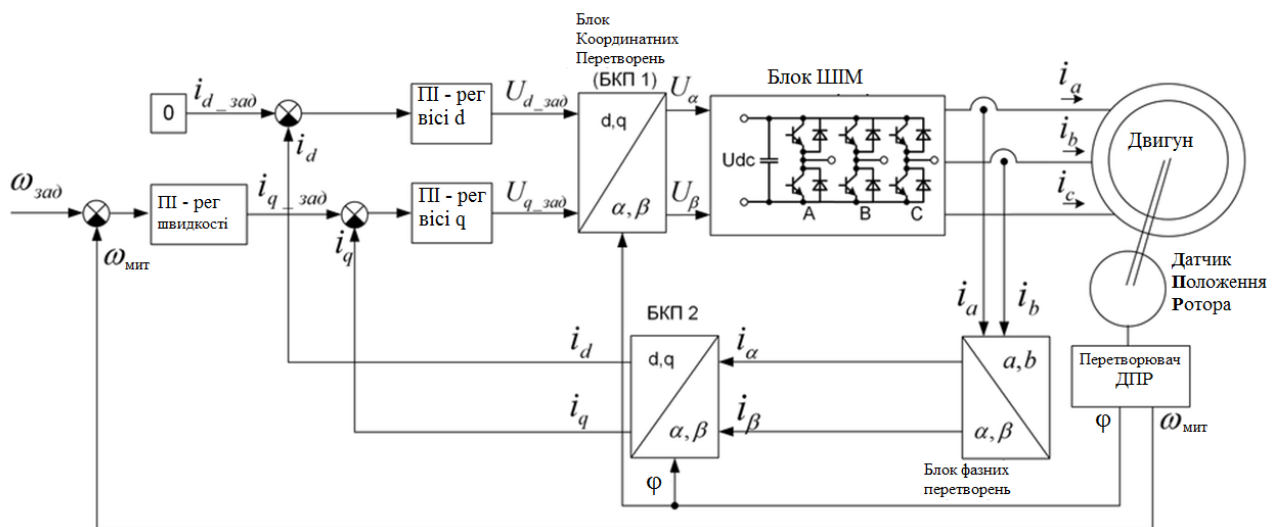


Рис 3.3. Структурна схема керування для трифазного синхронного двигуна

Для більш точного розуміння процесів, що відбуваються під час ВУ, була змодельована система (Рис.3.4), яка детально показує всі функціональні вузли системи векторного керування синхронним двигуном, взаємодію між ними, та дозволяє на практиці перевірити, як саме працює даний метод керування.



двофазних струмів в трифазні. Блок *pmsm* (permanent magnet synchronous motor) реалізує трифазну або п'ятифазну синхронну машину з постійним магнітом. Після зняття показників з двигуна, необхідно перетворити фазні струми в двофазні. Для цього застосовується пряме перетворення Кларка, за яке відповідає блок *clarke*. Блок *park* відповідає за пряме перетворення Парка. За допомогою цього блоку відбувається перетворення координат для струмів, від нерухомих осей, що прив'язані до статора двигуна, до обертових  $d$  і  $q$ , прив'язаних до ротора [1].

Результатами моделювання є графіки перехідних процесів швидкості обертання ротора, фазного струму статора та електромагнітного моменту, при різних моментах навантаження, а саме:

- швидкості обертання ротора;
- часова діаграма фазних струмів статора;
- часова діаграма моменту двигуна.

Задана швидкість обертання мала значення 1425 об/хв., а початковий момент навантаження був заданий 1401 Нм. Після чого його знизили спочатку до 1000 Нм, а потім підвищили до 2000 Нм.



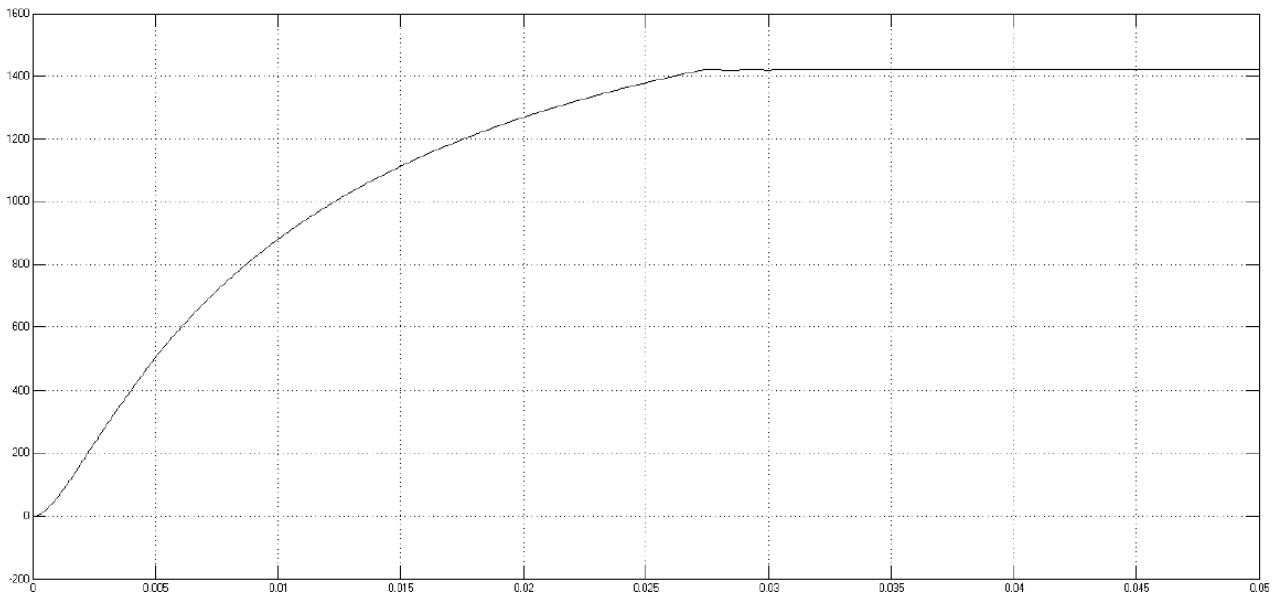


Рис 3.5. Часова діаграма швидкості обертання ротора при навантаженні 1401 Нм.

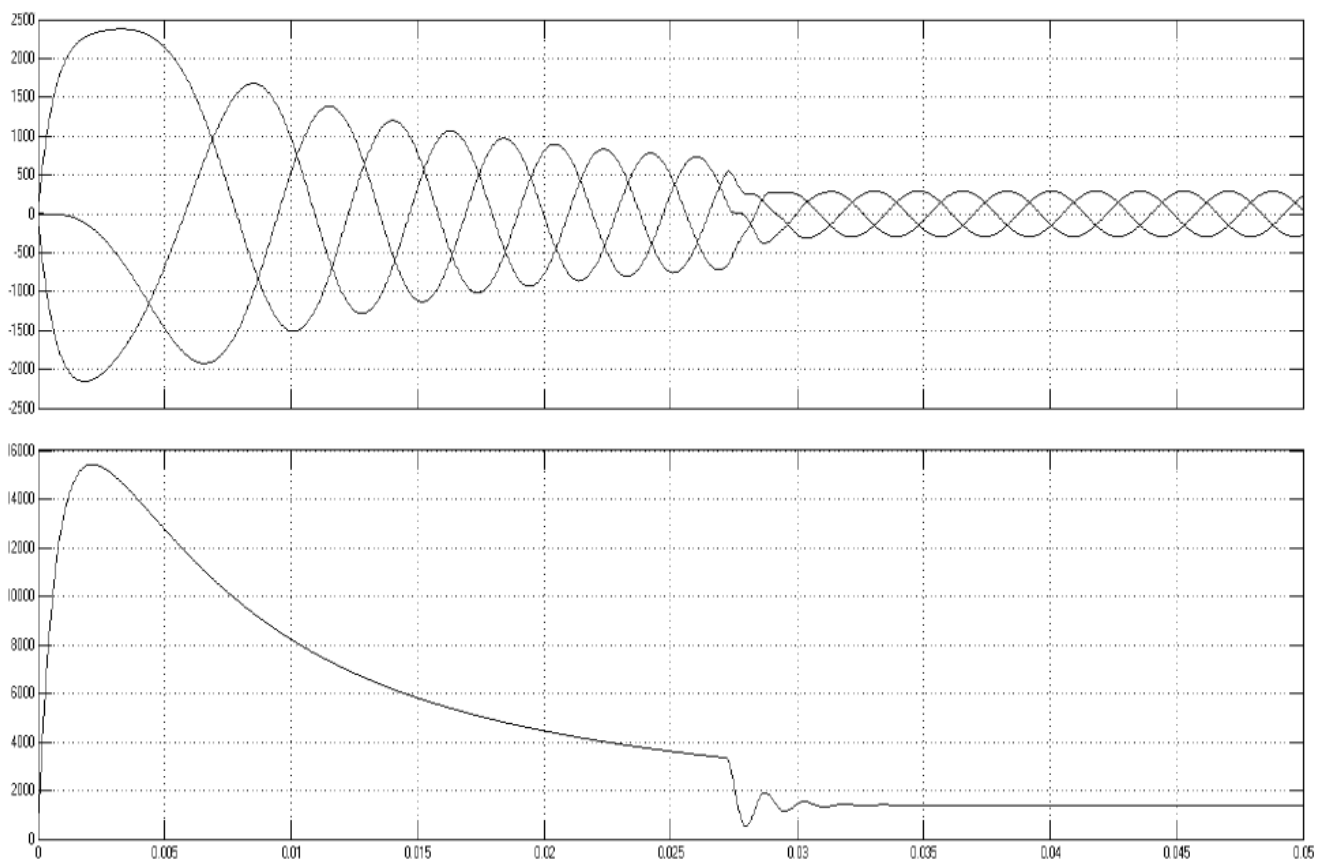


Рис. 3.6. Часова діаграма фазних струмів статора та електромагнітного моменту при навантаженні 1401 Нм.

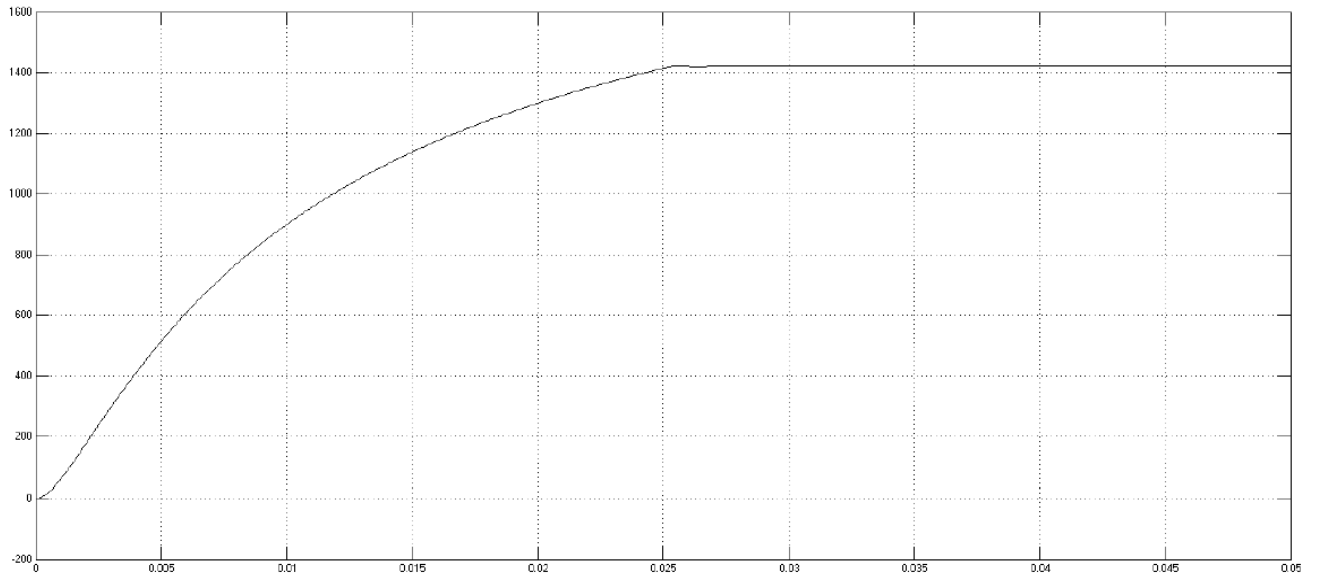


Рис. 3.7. Часова діаграма швидкості обертання ротора при навантаженні 1000 Нм.

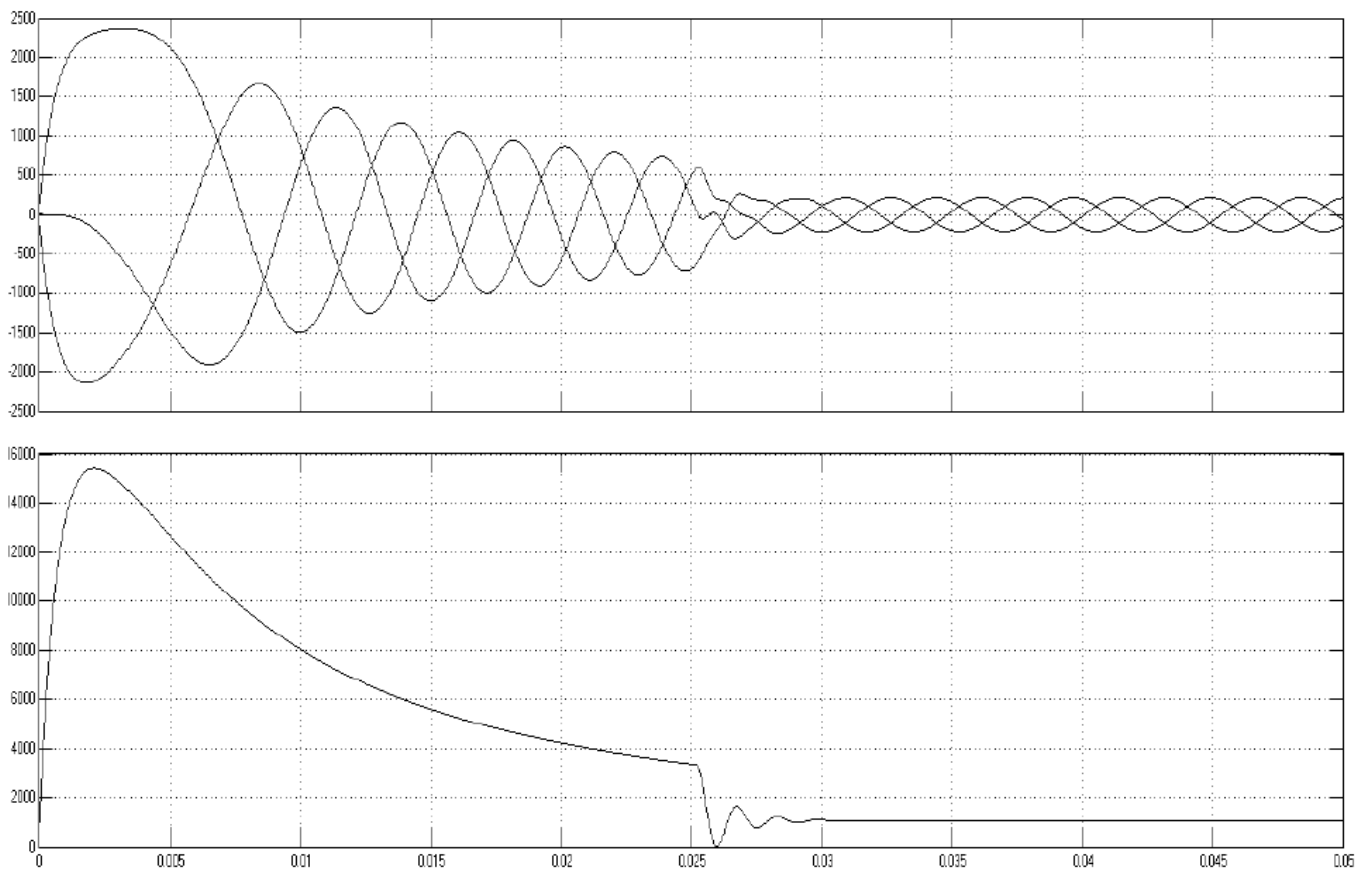


Рис. 3.8. Часова діаграма фазних струмів статора та електромагнітного моменту при навантаженні 1000 Нм.

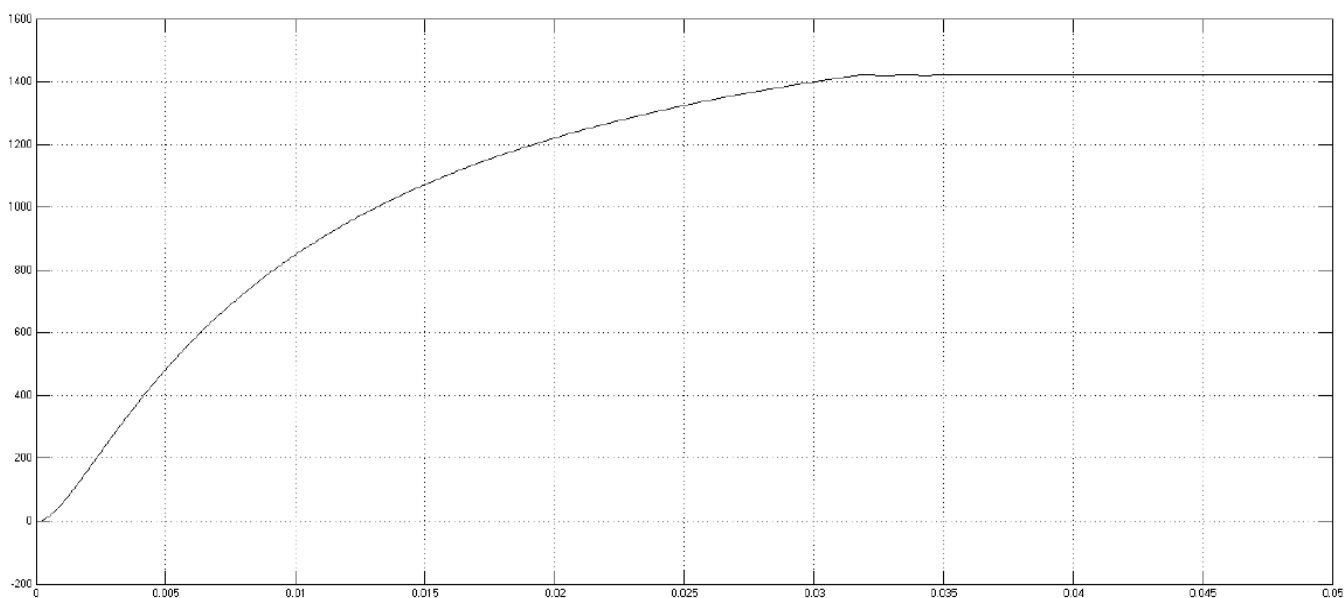


Рис. 3.9. Часова діаграма швидкості обертання ротора при навантаженні 2000 Нм.

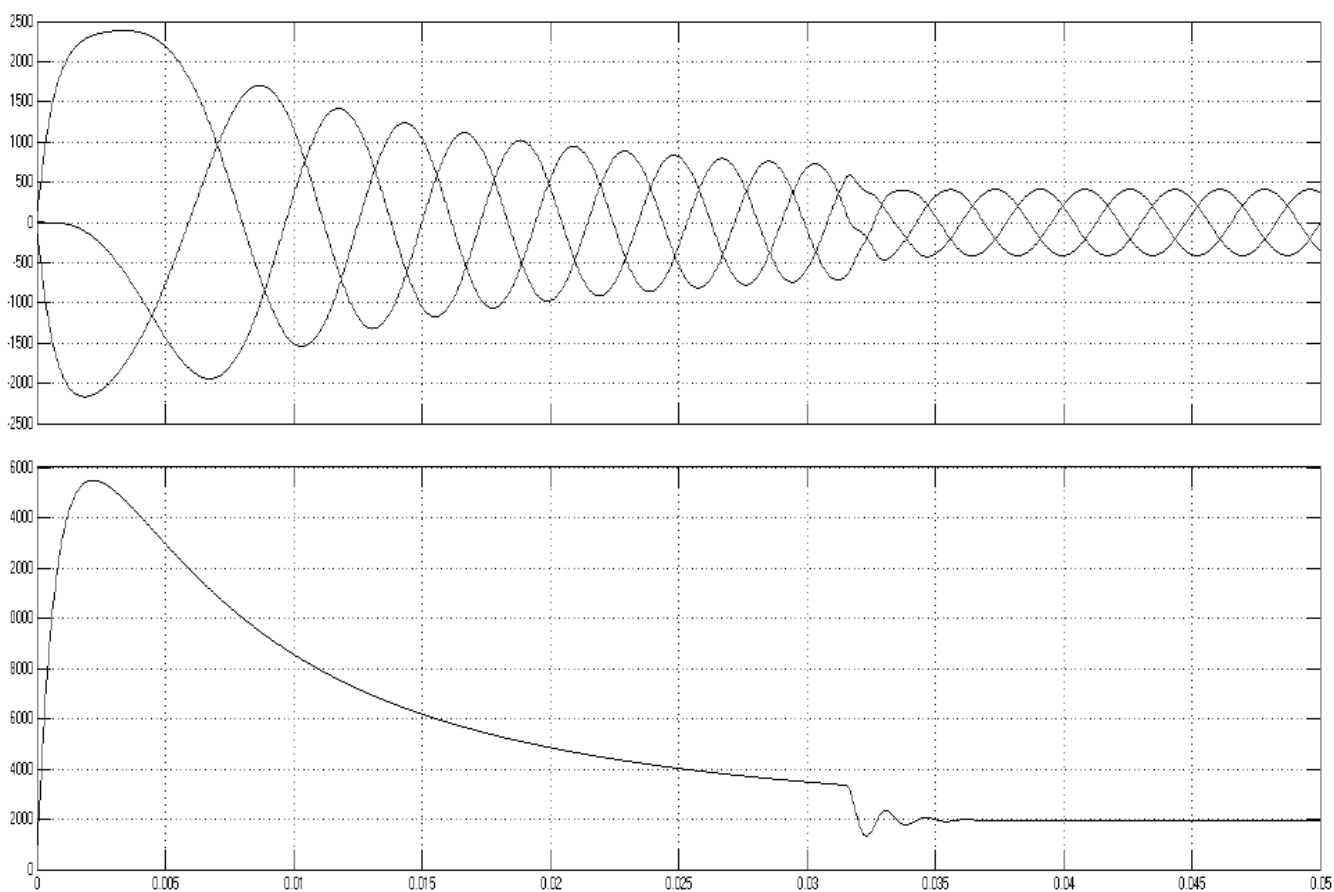


Рис 3.10. Часова діаграма фазних струмів статора та електромагнітного моменту при навантаженні 2000 Нм.

Розглянувши приведені діаграми, можна побачити, що при зміні моменту навантаження на валу ротора перехідні процеси досліджуваних характеристик мали гарні показники. Також була досліджена залежність при якій при збільшенні моменту навантаження часові показники мали тенденцію незначного збільшення, але повністю задовольняли вимоги системи. Час виходу двигуна на задані обороти відбувався в короткий строки, без пере регулювання та різких скачків. В свою чергу фазні струми статора швидко набували необхідних значень. Електромагнітний момент після незначного пере регулювання за короткий час, набував необхідного значення для збалансування моменту навантаження на валу ротора.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### **4.1. Основні положення для запобігання травматизму при роботі з літальними апаратами**

Для уникнення травматизму, порушення правильності роботи, надзвичайних ситуацій, професійних захворювань та виходу обладнання з ладу, людина яка займається налаштуванням, інтегруванням та ремонтом, повинна дотримуватись чітких інструкцій. До самостійного обслуговування електроустановок допускаються особи віком не молодше 18 років, які пройшли медичне обстеження і не мають медичних протипоказань, пройшли спеціальне навчання, атестацію та мають відповідне посвідчення, пройшли вступний інструктаж з охорони праці, інструктаж на робочому місці та інструктаж з пожежної безпеки. Працівники, що обслуговують електроустановки, зобов'язані мати відповідну групу з електробезпеки. Знати і уміти застосовувати на практиці правила безпеки в обсязі, потрібному для роботи, яка виконується.

Під час налаштування, випробування та налагодження електричного обладнання необхідно чітко дотримуватись Правил експлуатації електроустаткування, Правил техніки безпеки під час експлуатації електроустаткування споживачів та технологічними процесами.

Під час роботи з електрообладнанням є безліч небезпечних і шкідливих факторів для персоналу, який його обслуговує. Деякі з них:

- ураження електричним струмом;
- падіння під час виконання робіт на висоті;
- підвищена рухливість повітря;
- підвищений рівень статичної напруги;
- опіки під час виконання робіт з ремонту силових кабелів (розігрів кабельної маси);

- травмування обертовими частинами електроприводів, деталей машин і механізмів;
- опіки електричної дугою під час коротких замикань;
- напруженість електричного поля більше 5 кВ/м;
- крокова та наведена напруга;
- підвищення, або зниження температури навколишнього середовища;
- рух транспорту в робочій зоні, під час розташування підстанцій і ПЛ поряд з дорогами та іншими транспортними магістралями;
- недостатність освітлення робочої зони;
- дія хімічних речовин (ацетон);
- недостатня освітленість робочої зони.

Частини інструментів, які ізолювані і використовуються для обслуговування електроустаткування, повинні бути виконані з струмопровідних матеріалів.

Під час роботи в вибухонебезпечній зоні використання матеріалів або інструментів, які можуть визвати іскріння заборонено.

Для роботи у темний період часу, для місцевого освітлення ділянки, на якій проводяться роботи, використовують акумуляторні ліхтарі напругою до 12 В у вибухозахищеному вигляді в зонах з підвищеною небезпекою вибуху.

Під час використання абсолютно будь-якого електроустаткування дуже важливим є дотримання правил техніки безпеки. Не можна нехтувати будь-якими несправностями, виявленими в електрообладнанні, таке недбале ставлення, насамперед до самого себе, призводить до травм різного ступеня тяжкості, а іноді й до смертельного результату.

На безпеку роботи великий вплив має навколишнє середовище, в якому експлуатують електроустановки. Агресивні гази, пари руйнують ізоляцію електроустановок, знижують її опір, створюють загрозу переходу напруги на металоконструкції. Цьому сприяють висока температура і вологість повітря, струмопровідний пил.

В свою чергу приміщення, у яких експлуатують електроустаткування поділяють на три основних категорії:

- приміщення з підвищеною небезпекою;
- особливо небезпечні приміщення;
- приміщення без підвищеної небезпеки.

Приміщення з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом характеризуються наявністю однієї з наступних умов:

- вологості (приміщення, в якому відносна вологість повітря є більше ніж 60 %, але не перевищує 75 %);
- струмопровідного пилу (технологічна або інший пил осідає на проводах, може проникнути всередину машини і апаратів);
- струмопровідних підлог (металевих, земляних, залізобетонних, цегляних);
- підвищеної температури повітря (довгостроково понад +35°C, короткочасно +40°C);
- можливості дотику людини до металевих корпусів електрообладнання з одного боку і до з'єднаних з землею металоконструкцій будівель, технологічного устаткування, механізмів з іншого.

Особливо небезпечні приміщення характеризуються наявністю однієї з умов, що створюють особливу небезпеку: дуже високої відносної вологості повітря (близько 100 %), хімічно активного середовища; або одночасною наявністю двох чи більше умов, що створюють підвищену небезпеку.

Приміщення без підвищеної небезпеки характеризуються відсутністю умов, що створюють підвищену або особливу небезпеку (сухі адміністративні приміщення тощо).

Під час аналізу електротравматизму виділяють чотири основні причини електричних травм, а саме: організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні й психофізіологічні. Основні причини електротравматизму в Україні – організаційні та технічні.

Основні організаційні причини це:

- неефективний нагляд – відомчий і громадський контроль за дотриманням вимог безпеки;
- відсутність або неякісне проведення навчання з питань охорони праці;
- відсутність або несвоєчасність проведення медичного контролю стану здоров'я електроперсоналу;
- порушення вимог стандартів, норм щодо експлуатації електроустановок;
- невиконання заходів щодо охорони праці;
- порушення технологічних регламентів;
- порушення регламентних, планових і ремонтних робіт;
- недостатній технічний нагляд за проведенням небезпечних робіт

До технічних причин відносять:

- розходження з загальними вимогами безпеки;
- несправність електроустановки;
- конструктивні недоліки устаткування;
- відсутність засобів індивідуального захисту;
- відсутність засобів сигналізації.

До санітарно-гігієнічних причин відносять:

- підвищений вміст шкідливих речовин;
- недостатнє або нераціональне освітлення;
- підвищений рівень шуму;
- незадовільні мікрокліматичні умови;
- наявність випромінення.

До психофізичних причин відносять:

- помилкові дії працівників внаслідок втоми;
- невідповідність психофізіологічних чи антропометричних даних працівника виконуваній роботі.



Аналіз виробничих травм показує, що небезпечний фактор для персоналу, що обслуговує електрообладнання, – це ураження електричним струмом. А основними причинами електротравматизму є поява напруги у тих місцях де її не має бути. Причиною цього є порушення ізоляції кабелів, дротів та обмоток. Можливість доторкнутись до неізольованих частин, які проводять струм. Це відбувається коли клеми і шини розташовують не на висоті. Утворення електричної дуги між струмопровідною частиною та людиною.

Щороку в Україні від електричного струму гине приблизно 1500 осіб. Найбільша кількість випадків електротравматизму, в тому числі зі смертельними наслідками, стається під час експлуатації електроустановок напругою до 1000 В, що пов'язано з їх поширенням і відносною доступністю практично для кожного, хто працює на виробництві. Випадки електротравматизму під час експлуатації електроустановок напругою понад 1000 В нечасті, що зумовлено незначним поширенням таких електроустановок і обслуговуванням їх висококваліфікованим персоналом.

Аналіз нещасних випадків, які зв'язані з дією електричного струму дозволяє розділити основні причини у групи:

- випадковий дотик до струмоведучих частин;
- напруга на металевих частинах устаткування;
- помилкове підключення устаткування під напругу під час проведення на ньому ремонтно-профілактичних робіт;
- виникнення крокової напруги на поверхні землі, на якій знаходиться людина.

Кожна з представлених груп включає в себе конкретні небезпечні фактори, а саме:

- порушення правил влаштування, технічної експлуатації та техніки безпеки електроустановок;
- відсутність надійних засобів захисту;
- недосконалість конструкції електроустановки;
- виконання електромонтажних та ремонтних робіт під напругою;

- несправність ізоляції струмопровідних частин системи;
- помилкове підключення устаткування під напругу під час проведення регламентно-ремонтних робіт;
- інструктажі низької кваліфікації зі сторони робітників, які використовують ручні електричні машини;
- застосування кабелів та проводів, які не відповідають умовам виробництва.

#### **4.2. Технологічні заходи з організації зниження впливу шкідливих виробничих факторів**

Розробка заходів зниження небезпечних факторів означає організацію керування охороною праці. Це дозволяє знизити ризики травматизму нещасних та смертельних випадків, професійних захворювань та виникнення надзвичайних ситуацій.

Забезпечення безпеки досягається завдяки розробці й впровадженню виробничих процесів, які розробляються відповідно до вимог Наказу Міністерства соціальної політики України 28.12.2017 № 2072 «Вимоги безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками», а також вимог державних і галузевих стандартів безпеки праці за видами технологічних процесів і робіт, норм і правил органів державного нагляду.

Принципи забезпечення безпеки діяльності можливо характеризувати за групами заходів, які виконуються:

Технічні заходи — технічні засоби, які дозволяють забезпечити безпечні і нешкідливі умови виконання поставленої роботи, впровадження нового обладнання, пристроїв і приладів. Технічні заходи можливо розділити на 2 великі групи:

- засоби під час проведення робіт зі зняттям напруги на діючих електроустановках;

– засоби під час проведення робіт на струмопровідних частинах.

До засобів першої групи відносять:

– вимкнення установки чи частини від джерела живлення електроенергії;

– механічне блокування приводів, які здійснюють вимкнення, зняття запобіжників, від'єднання кінців лінії, яка здійснює електропостачання;

– встановлення заземлення (ввімкнення заземлювальних ножів чи встановлення переносних заземлень).

До засобів другої групи відносять:

– виконання робіт за нарядом не менш ніж двома працівниками зі застосуванням електрозахисних засобів, під постійним наглядом, із забезпеченням безпечного розташування працівників.

До нормативно-методичних заходів відносять:

– розробка посібників і рекомендацій;

– розробка нормативної бази;

– розробка навчальної методики;

– розробка розділів охорони праці в посадових інструкціях.

До організаційних заходів відносять:

– контроль за технічним станом обладнання;

– контроль за дотриманням вимог нормативних документів з охорони праці;

– забезпечення відповідними знаками безпеки;

– забезпечення працівників засобами індивідуального та колективного захисту.

До санітарно-гігієнічних заходів відносять:

– забезпечення санітарно-побутових умов згідно з діючими нормами;

– контроль за впливом виробничих факторів на здоров'я працівників;

– планування заходів щодо поліпшення санітарно-гігієнічних умов;

- паспортизація санітарно-технічного стану умов праці.

До соціально-економічних заходів відносять:

- соціальне страхування працівників роботодавцем;
- фінансування заходів з охорони праці;
- відшкодування роботодавцем працівнику збитків у разі каліцтва.

До лікувально-профілактичних заходів відносять:

- дотримання охорони праці жінок, неповнолітніх та інвалідів;
- контроль за здоров'ям працюючих протягом їхньої трудової діяльності;
- надання медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків на виробництві;
- проведення медичних оглядів працівників (попередніх та періодичних).

До наукових заходів відносять:

- плани локалізації і ліквідації аварії;
- оцінка ефективності керування охороною праці;
- моделювання аварійних ситуацій і розробка заходів щодо їх відвернення.

Основними нормативними документами щодо електробезпеки в Україні є:

Правила будови електроустановок. Дія цих правил розповсюджується на електроустановки, що споруджуються напругою до 500кВ. Вони встановлюють загальні вимоги до будови електроустановок, до каналізації (передачі) електроенергії, до захисту і автоматики, до розподільчих пристроїв і підстанцій, до електросилових установок, до електричного освітлення та до електрообладнання спеціальних установок.

Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (ДНАОП 0.00-1.32–01). Цей документ затверджений Міністерством праці України і включає деякі питання електричного освітлення та обладнання спеціальних установок зі змінами і доповненнями відповідно до чинних в Україні і міжнародних нормативних актів, а саме:

– «Правила технічної експлуатації електричних станцій та мереж» галузевий (енергетика) нормативний документ, дія якого розповсюджується на електроустановки напругою до 500 кВ, встановлює вимоги до контролю стану і технічного обслуговування електроустановок енергетичної галузі.

– «Правила технічної експлуатації електричних приладів споживачів» — міжгалузевий нормативний акт, дія якого розповсюджується на електроустановки напругою до 220 кВ, встановлює вимоги до контролю стану та технічного обслуговування електроустановок, ведення відповідної документації.

– ДНАОП 1.1.10-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок—галузевий нормативний документ (енергетика). Дія його розповсюджується на електроустановки енергетичної галузі напругою до 500 кВ. Він встановлює вимоги щодо безпечної експлуатації електроустановок.

– ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів — міжгалузевий НА, що визначає вимоги з безпечної експлуатації електроустановок, дія його розповсюджується на електроустановки напругою до 220 кВ.

– ДНАОП 1.1.10-1.07-01. Правила експлуатації електрозахисних засобів — НА, що встановлює вимоги до необхідного переліку електрозахисних засобів залежно від конкретних умов, до зберігання, випробування, перевірки стану та користування електрозахисними засобами.

– галузеві нормативні акти з електробезпеки. Міжгалузеві нормативні акти з електробезпеки не заперечують проти розробки галузевих НА за доцільності цього. Галузеві НА, при цьому, не повинні перечити міжгалузевим і зменшувати рівень безпеки.

– нормативні акти підприємств з питань електробезпеки. В основному, це інструкції з безпечного обслуговування електроустановок та виконання робіт в електроустановках, опрацьовані і затверджені відповідно до чинних вимог.

Відповідно до державних стандартів з електробезпеки і Правил устрою електроустановок, номенклатура видів захисту від ураження електричним струмом включає у собі такі засоби і способи.

Можна виділити три системи засобів і заходів забезпечення електробезпеки:

- система технічних заходів і засобів;
- система електрозахисних засобів;
- система організаційно-технічних заходів і засобів.

Основні технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки:

- ізоляція струмопровідних частин;
- захисне розділення електричних мереж;
- вирівнювання потенціалів;
- компенсація ємкісних струмів замикання на землю;
- недоступність струмопровідних частин.

Ізоляція струмопровідних частин. Забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогідність попадань людини під напругу, замикань на землю і на корпус електроустановок, зменшує струм через людину під час доторкання до неізольованих струмопровідних частин в електроустановках, що живляться від ізольованої від землі мережі за умови відсутності фаз з пошкодженою ізоляцією.

ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. У вимогах до захисних заходів від ураження електричним струмом» виділяють ізоляцію:

- робочу - забезпечує нормальну роботу електроустановок і захист від ураження електричним струмом;
- додаткову — забезпечує захист від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції;
- подвійну - складається з робочої і додаткової;
- підсилену - поліпшена робоча ізоляція, яка забезпечує такий рівень захисту, як і подвійна.

Захисне розділення електричних мереж. Загальний опір ізоляції проводів електричної мережі відносно землі і ємкісна складова струму замикання на землю залежать від довжини мережі і її розгалуженості.

Зі збільшенням розладженості мережі, збільшується ємність та зменшується опір. Розділення такої протяжної мережі на окремі, електрично незв'язані між собою, частини за допомогою трансформаторів з коефіцієнтом трансформації, рівним одиниці, сприяє підвищенню опору ізоляції і зменшенню ємності і, як результат, приводить до підвищення рівня безпеки.

Забезпечення недоступності струмопровідних частин. Статистичні дані щодо електротравматизму свідчать, що більшість електротравм пов'язана з дотиком до струмопровідних частин електроустановок (біля 56 %). Якщо в установках до 1000 Основними заходами забезпечення недоступності струмопровідних частин є застосування захисних огорожень, закритих комутаційних апаратів (пакетних вимикачів, комплектних пускових пристроїв, дистанційних електромагнітних приладів керування споживачами електроенергії тощо), розміщення неізольованих струмопровідних частин на недосяжній для ненавмисного доторкання до них інструментом, різного роду пристосуваннями висоті, обмеження доступу сторонніх осіб в електротехнічні приміщення тощо.

#### *Система електрозахисних засобів:*

ДНАОП 1.1.10-1.07-01 “Правила експлуатації електрозахисних засобів” (в подальшому Правила) — чинний нормативний документ, в якому наведено перелік засобів захисту, вимоги до їх конструкції, обсягів і норм випробувань, порядку застосування і зберігання, комплектування засобами захисту електроустановок та виробничих бригад. Засоби захисту, що використовуються в електроустановках, повинні відповідати вимогам чинних державних стандартів, технічних умов щодо їх конструкції тощо.

Електрозахисті засоби поділяються на ізолювальні (ізолювальні штанги, кліщі, накладки, діелектричні рукавички тощо), огорожувальні (огороження, щитки, ширми, плакати) та запобіжні (окуляри, каски, запобіжні пояси, рукавиці для захисту рук).

### *Система організаційно-технічних заходів і засобів:*

Основні організаційно-технічні заходи і засоби щодо попередження електротравм регламентуються ДНАОП 0.00-1.21-98 “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”, за якими відповідальність за організацію безпечної експлуатації електроустановок покладається на власника.

– основні організаційно-технічні заходи і засоби щодо попередження електротравм регламентуються ДНАОП 0.00-1.21-98 “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”, якими відповідальність за організацію безпечної експлуатації електроустановок покладається на власника.;

– створити і укомплектувати відповідно до потреб електротехнічну службу;

– створити на підприємстві такі умови, щоб працівники, на яких покладено обов’язки з обслуговування електроустановок, відповідно до чинних вимог своєчасно здійснювали їх огляд та випробування;

– розробити і затвердити посадові інструкції працівників електротехнічної служби та інструкції з безпечного виконання робіт в електроустановках з урахуванням їх особливостей.

### **4.3. Забезпечення пожежної безпеки під час експлуатації електроустаткування**

Пожежна безпека на підприємстві – це ряд дій, під час виконання яких на об’єктах замовника чи власних з установленою імовірністю виключається можливість виникнення пожежі та дії небезпечних факторів пожежі на людей.

Пожежна безпека забезпечується за рахунок проведення різних організаційних, технічних заходів, які направлені на запобігання пожеж, забезпечення безпеки людей, зниження можливих матеріальних збитків та створення умов для термінового виклику пожежних підрозділів та успішного гасіння пожеж. Пожежний захист забезпечується за рахунок застосування різних засобів, а саме:



- засобів пожежогасіння та пожежної техніки;
- автоматичних установок пожежної сигналізації та пожежогасіння;
- будівельних конструкцій об'єктів з регламентованими межами вогнестійкості.

Організаційно-технічні заходи забезпечення пожежної безпеки можливо поділити:

- розробка комплексних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки;
- правильним вибором ступеня захисту електрообладнання;
- виконання вимог приписів і постанов органів державного пожежного нагляду;
- заземленням електроприймачів;
- організація навчання для співробітників правилам пожежної безпеки;
- утримання у справному стані засобів протипожежного захисту і зв'язку, обладнання та інвентарю;
- захистом електричних апаратів від струмів короткого замикання і перевантажень;
- здійснення заходів щодо впровадження автоматичних засобів виявлення та гасіння пожеж;
- здійснення заходів щодо впровадження автоматичних засобів виявлення та гасіння пожеж;
- вибором перерізу провідників по безпечному нагріванню, а також дотриманням протипожежних вимог під час роботи з електроенергією;
- розроблення інструкцій;

Одним з первинних засобів гасіння пожежі елементів електроустаткування це вогнегасник. Для електрообладнання рекомендується використовувати порошкові вогнегасники.

Переносні порошкові вогнегасники ВПС-6, ВПС-10, ВП-2, ВП-2Б, ВП-8Б,

ВП-5, ВП-10, які призначені для гасіння загорянь електричних установок під напругою. Вогнегасник ВП-6 (рис. 1) призначений для гасіння твердих, рідких і газоподібних речовин різних класів, в залежності від типу порошку, який застосовується у вогнегаснику. Не рекомендується для гасіння обладнання, яке може вийти з ладу під час попаданні порошку, наприклад комп'ютерна техніка тощо.



Рис. 4.1. Порошковий вогнегасник ВП-6

Вогнегасник складається з корпусу, заряду (порошок), сифонної трубки, балону з газом, газової трубки з аератором, манометром, ручки для транспортування, пускового важеля, шлангу та запобіжника.

Технічні характеристики вогнегасника порошкового ВП-5 (ОП-5) наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

**Технічні характеристики ВП-5(з)**

Вага вогнегасного порошку, кг	6 ± 0,3
Вага вогнегасника повна, кг	8,9
Вогнегасна здатність по гасінню модельного вогнища, клас пожежі	3А/89В
Тривалість подачі вогнегасної речовини, с	12
Габаритні розміри (висота / діаметр корпусу), мм	580/160
Призначений термін служби, років	10 років
Періодичність перезарядки	1 раз на 1 рік

#### **4.4. Інструкція з техніки безпеки під час експлуатації електроустаткування**

1. Дія інструкції поширюється на всі підрозділи підприємства.
2. За цією інструкцією персонал повинен пройти інструктаж перед початком роботи (первинний інструктаж), а потім — через кожні 3 місяці (повторний інструктаж).
3. Власник повинен застрахувати персонал від нещасних випадків та професійних захворювань.
4. За невиконання цієї інструкції персонал несе дисциплінарну, матеріальну, адміністративну та кримінальну відповідальність.
5. До самостійного обслуговування електроустановок допускаються особи віком не молодше 18 років, які пройшли медичне обстеження і не мають медичних протипоказань, пройшли спеціальне навчання, атестацію та мають відповідне посвідчення, пройшли вступний інструктаж з охорони праці, інструктаж на робочому місці та інструктаж з пожежної безпеки.
6. Працівники, що обслуговують електроустановки, зобов'язані мати

відповідну групу з електробезпеки.

7. Посвідчення про перевірку знань працівника є документом, який засвідчує право на самостійну роботу в електроустановках на зазначеній посаді за фахом.

8. Під час виконання службових обов'язків працівник повинен мати із собою посвідчення про перевірку знань. За відсутності посвідчення або за наявності посвідчення з простроченими термінами перевірки знань працівник до роботи не допускається.

9. Посвідчення про перевірку знань підлягає заміні у випадку зміни посади або за відсутності місця для записів.

Вимоги безпеки перед виконанням робіт:

1. Перевірити та одягти засоби індивідуального захисту (спецодяг, спецвзуття і ін.). Спецодяг електрика повинен бути добре підігнаний і застібнутий, оскільки поли, рукава можуть бути захоплені рухомими частинами механізмів, машин. На голові необхідно мати головний убір.

2. Оглянути робоче місце та перевірити на справність роботи систем вентиляції, відсутності порушень в роботі електротехнічного устаткування, яке підлягає обслуговуванню, наявності і справності засобів пожежогасіння, засобів колективного захисту, наявності необхідного для роботи інструменту.

3. Видалити із зони проведення робіт сторонніх осіб, звільнити робоче місце від зайвих предметів і матеріалів, обгородити робочу зону і установити знаки безпеки.

4. Перед виконанням робіт з підвищеною небезпекою, які проводяться за розпорядженням або нарядом-допуском, переконатися в належному оформленні документації, пройти цільовий інструктаж та виконувати заходи передбачені нарядом-допуском, розпорядженням, вимогами правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Вимоги безпеки під час виконання робіт:

1. Забороняється самостійно відчиняти електрошкафи, обладнання, проводити будь-який ремонт електричного обладнання, відкривати (знімати)

блокуючи та захисні пристрої.

2. Під час необхідності, якщо цього вимагають інструкції, використовувати електрозахисні засоби. Захисні засоби повинні бути випробувані та мати спеціальний штамп про проведення випробування.

3. Електротехнічний персонал, який виконує роботу поблизу струмопровідних частин, що знаходяться під напругою, повинен розміщуватися так, щоб ці струмопровідні частини були перед ним тільки з однієї бічної сторони. Забороняється проводити роботу, якщо струмопровідні частини, що знаходяться під напругою, розташовані позаду чи з двох боків від працюючого.

4. Затверджені переліки робіт із зняттям та без зняття напруги, які виконуються електротехнічним персоналом на закріпленій ділянці протягом однієї зміни у порядку поточної експлуатації та по розпорядженням на електроустаткуванні до 1000 В, а також затверджені переліки робіт, які виконуються по наряді.

5. Під час виконання робіт в колах вимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту, всі вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів струму і напруги необхідно постійно заземлювати.

6. Не допускається знімати огороження тих частин електродвигунів, що обертаються, під час роботи електродвигуна.

Вимоги безпеки після виконання робіт :

1. Вимкнути з мережі електроустаткування і прилади, які використовувалися під час роботи.

2. Зібрати деталі, матеріали, інструмент, пристрої, привести їх у належний стан (почистити, протерти), інструмент і пристрої прибрати у відведене місце.

3. Прибрати місце проведення робіт, відходи зібрати у ящик для сміття та винести з приміщення у відведене місце.

4. Зняти та прибрати у відведене для цього місце спецодяг і інші засоби індивідуального захисту, що використовувалися в процесі роботи.

## Висновки:

1. Основними законодавчими актами з охорони праці є Закони України: «Про охорону праці», «Про охорону здоров'я», «Про пожежну безпеку», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення, Кодекс Законів про працю (КЗпП) та державні міжгалузеві й галузеві нормативні акти, які є обов'язковими для виконання усіма державними та недержавними установами по всій території України.

2. За великою кількістю зібраної статистичної інформації однією з головних причин електротравматизму є ураження струмом, тому важливим аспектом є звертання достатньої уваги для укладання та дотримання правил охорони праці при роботі зі струмом. Увагу було приділено розрахунку контурного заземлення для ділянки, на якій знаходиться електроустаткування.

3. Розглянуті основні групи заходів профілактики уникнення травматизму. Виділено засоби і заходи захисту від ураження струмом, травматизму та нещасних випадків. Було розглянуто основні технічні та організаційні заходи для уникнення пожежі. Розглянута структура вогнегасника, як первинного засобу пожежогасіння.

4. Описано базові інструкції щодо роботи з різними видами електроустаткування, враховані особливості підготовки нормативної бази.

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Охорона навколишнього середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки людини, невід’ємна складова економічного і соціального розвитку нашої країни.

Відносини у галузі охорони навколишнього природного середовища в Україні регулюються законом України "Про охорону навколишнього природного середовища", а також розробленими відповідно до нього земельним, водним, лісовим законодавством, законодавством про надра, про охорону атмосферного повітря, про охорону і використання рослинного і тваринного світу та іншим спеціальним законодавством (стаття 2 Закону).

Основні принципи охорони навколишнього середовища за 3 статтею закону "Про охорону навколишнього середовища":

- гарантія екологічно безпечного середовища для життя і здоров'я людей;
- пріоритетність вимог екологічної безпеки, обов'язковість додержання екологічних стандартів, нормативів та лімітів використання природних ресурсів при здійсненні господарської, управлінської та іншої діяльності;
- екологізація матеріального виробництва на основі комплексності рішень у питаннях охорони навколишнього природного середовища, використання та відтворення відновлюваних природних ресурсів, широкого впровадження новітніх технологій;
- запобіжний характер заходів щодо охорони навколишнього природного середовища;
- обов'язковість екологічної експертизи;
-

- гласність і демократизм при прийнятті рішень, реалізація яких впливає на стан навколишнього природного середовища, формування у населення екологічного світогляду;
- науково обґрунтоване нормування впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище;
- компенсація шкоди, заподіяної порушенням законодавства про охорону навколишнього природного середовища;
- встановлення екологічного податку, збору за спеціальне використання води, збору за спеціальне використання лісових ресурсів, плати за користування надрами відповідно до Податкового кодексу України .

Законодавством встановлюються різні екологічні нормативи. Наприклад, норматив використання природних ресурсів. Екологічні нормативи встановлюють гранично допустимі викиди та скиди у навколишнє природне середовище забруднюючих хімічних речовин, рівні допустимого шкідливого впливу на нього фізичних та біологічних факторів

Нормативи гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин у навколишньому природному середовищі та рівні шкідливих фізичних та біологічних впливів на нього є єдиними для всієї території України.

Усі підприємства та організації, діяльність яких пов'язана певними впливами на навколишнє середовище, незалежно від часу введення їх у експлуатацію, повинні бути обладнані спорудами, устаткуванням і пристроями для очищення викидів і скидів або їх знешкодження. Повинні бути оснащені приладами контролю кількості і складу забруднюючих речовин.

### **5.1. Вплив шумів, вібрації, електромагнітного випромінювання на навколишнє середовище**

Оскільки на складських приміщеннях все ж наявні оператори, які слідкують за роботою роботів-маніпуляторів. Та деякі процеси виконуються



оператори, то необхідною стає задача по зниженню шумів на об'єкті, де виконуються дії.

Шумом прийнято вважати звуки, які негативно впливають на організм людини і заважають його роботі та відпочинку. Тому шум часто називають несприятливим звуком.

Зазвичай шум створюється під час хаотичного чергування звуків різної частоти та інтенсивності. Звук фізичне явище яке поширюється хвилею у пружному середовищі. Звук, а значить і шум, характеризується: швидкістю звуку  $c$ , м/с; частотою, Гц; звуковим тиском  $p$ , Па; інтенсивністю, Вт/м<sup>2</sup>.

Шум є випадковим поєднанням звуків різної інтенсивності і частоти. Як правило, розрізняють два основних джерела шуму:

- шуми природнього походження;
- шуми техногенного походження.

Шум у міському середовищі і житлових будівлях створюється транспортними засобами, промисловим устаткуванням, санітарно-технічними установками. На міських магістралях і в прилеглих до них зонах рівні звуку можуть досягати 70...80 дБА, а в окремих випадках 90 дБА і більше. В районі аеропортів рівні звуку ще вище.

Особливу увагу необхідно приділити саме шумам техногенного походження, адже вони особливо негативно впливають на організм. Ступінь шкідливого впливу шуму залежить від його інтенсивності, спектрального складу, часу впливу, місцезнаходження людини, характеру виконуваної їм роботи та індивідуальних особливостей людини.

Часто техногенні шуми являють собою суміш з випадкових звуків і коливань. До джерел шуму техногенного походження відносяться всі вживані в сучасній техніці механізми, обладнання та транспорт, які створюють значне шумове забруднення навколишнього середовища.

В залежності від середовища у якому розповсюджується шум, можна виділити дві основні групи:

- структурні шуми;
- повітряні шуми.

Структурні шуми виникають при безпосередньому контакті коливного тіла з частинами машин, їх корпусом, трубопроводами, фундаментами, будівельними конструкціями і т. д. Коливальна енергія, яка виникає при цьому, поширюється у вигляді повздовжніх і поперечних хвиль.

Шкідливий та небезпечний вплив шуму на організм людини встановлено тепер з повною визначеністю. Ступінь впливу залежить переважно від багатьох характеристик, таких як: рівень, тривалість шуму та не менше від індивідуальних особливостей людини. Численні дослідження підтвердили той факт, що шум належить до фізіологічних подразників, які за певних обставин можуть впливати як на більшість органів та систем організму людини, так і наносити негативні наслідки на оточуюче середовище, будівлі, техногенні породи з рахунок своїх хвиль. Так, за даними медичних експертів шум може спричинити велику кількість проблем зі здоров'ям (нервові проблеми; серцево-судинні проблеми; виразкові хвороби; порушення обміну речовин; порушення функціонування органів слуху).

Адаптація організму до шуму практично неможлива, тому регулювання й обмеження шумового забруднення оточення - важливий і обов'язковий захід.

Відповідний звуковий ландшафт існував на Землі завжди, і людина завжди використовувала властивості середовища як провідника, носія звуків. Шум оточуючого природного середовища становить 30 - 60 децибел. За сучасних умов до природного фону додаються виробничі і транспортні шуми, рівень яких нерідко вище 100 децибел. Джерелами шумів є всі види транспорту, промислові об'єкти, а також гучномовні пристрої, ліфти, телевізори, радіоприймачі, музичні інструменти, юрби людей тощо.

Адаптуватись до шумів організм людини не може. Пристосовуючись до шуму людина витрачає велику кількість енергії, як наслідок виникають втома, нервові та психічні розлади. Шуми шкідливі не лише для людей а й для тварин і рослин.

Сучасні методи боротьби з шумом — це важка та досить дорога задача. Важливо знищувати джерела шуму, створювати безшумні або малошумні машини і технологічні процеси, транспортне й промислове устаткування.

В якості допустимих норм встановлюють такі рівні шуму, дія яких протягом тривалого часу не викликає зниження гостроти слуху і забезпечує задовільну розбірливість мови на відстані 1,5 м від співрозмовника. Больовий поріг визначається силою звуку, що дорівнює 140 дБ. При шумовому фоні 70 дБ і вище виникають розлади ендокринної системи людини, значно збільшується кількість неврозів та психозів. При тривалій дії шуму в 90 дБ можливі проблеми зі слуховими механізмами, а тривала дія шумового фону вище 120 дБ викликає фізичний біль і стає нестерпною. Виникають також розлади центральної нервової системи, серцево-судинні захворювання, гіпертонія, психічна пригніченість тощо.

Проте звукові хвилі частотою до 16 Гц сприймаються людським організмом як вібрації. Багато виробничих процесів пов'язані з вібрацією.

Вібрація — це тремтіння всього або частини тіла внаслідок певних дій.

Основними джерелами вібрацій є механічні, пневматичні, електричні інструменти ударної або обертальної дії. Також обладнання без достатньої амортизації та віброізоляції. Роботи-маніпулятори теж здатні наносити вібраційний вплив на оточуюче середовище. Вібраційні відчуття з'являються коли людина торкається предметів, що коливаються під дією відповідних сил.

Сила впливу і характер вібрацій залежить від кількості поглинутої енергії. При вібрації виникають хвильові дії з перемінним стискуванням або розтягуванням тканини людини чи частин її тіла. Вібраційні процеси викликають в організмі реакцію подібну до багатократного струсу мозку, тому є причиною функціонального розладу різних органів.

Людина краще перенасить горизонтальні ніж вертикальні коливання вздовж осі тіла. За способами передачі на тіло людини вібрація може бути:

- загальною;
- локальною;

Загальна вібрація передається через опорні поверхні на тіло людини. Локальна вібрація передається через руки. У виробничих умовах часто зустрічаються випадки комбінованого впливу вібрації-загальної та локальної.

При вібраційному впливі на органи людини, можливе виникнення такого явища як резонанс внутрішніх органів, вони починають вести себе як маятники. Це пов'язане з тим, що усі органи людського організму працюють з певною частотою коливань. Для більшості внутрішніх органів власні частоти лежать в діапазоні 6-9Гц, а в межах частот 25-30Гц – резонанс голови відносно плечей.

При можливій синхронізації частоти вібраційного шуму з частотою роботи певного органу може з'явитись вібраційна хвороба. Особливості дії вібрації визначаються частотними спектрами і максимальними рівнями енергії коливання. Загальна вібрація викликає найбільшу питому вагу серед професійних хвороб.

Загальну вібрацію можливо класифікувати за трьома основними групами :

- транспортна;
- транспортно-технологічна;
- технологічна.

Транспортна вібрація виникає в наслідок руху по дорогах.

Транспортно-технологічна вібрація виникає при роботі машин, які знаходяться в стаціонарному положенні або переміщуються на спеціально підготовлених частинах виробничих приміщень. Роботи-маніпулятори здатні поширювати вібрацію саме цього типу.

Основними причинами виникнення вібрацій при роботі устаткування є:

- невірноваженість та незбалансованість частин механізмів;
- зміщення центру ваги тіла та осі обертання;
- деформація деталей через нагрів;
- знос деталей внаслідок незадовільного догляду за механізмами;
- конструктивні недоліки;
- нерівномірність тиску в робочих органах машин.

Технологічна вібрація- це вібрація яка розповсюджується на операторів стаціонарних машин або передається на робоче місце, яке не має прямого джерела вібрації.

Будь-який аеропорт, термінал, чи навіть сучасне підприємство або жилий будинок, вулиці сучасних міст, неможливо представити без різноманітних електронних або електричних пристроїв. Інтенсивний розвиток сучасних технологій викликав значене забруднення навколишнього середовища електромагнітним випромінюванням.

Головними джерелами випромінювання є:

- радіо та радіолокаційні станції;
- телевізійні станції;
- високовольтні лінії;
- електроприлади та електротранспорт.

Електромагнітне поле поширюється у вигляді електромагнітної хвилі, яка перенасить енергію, замкнену в електричному та магнітному полях. Електричні та магнітні поля змінюються одночасно, параметри якої:

- швидкість поширення хвилі;
- довжина хвилі;
- частота коливань.

Усі ці характеристики пов'язані між собою співвідношенням. Спектр електромагнітних коливань за частотою коливань та довжиною хвилі умовно поділяють на діапазони:

1. Діапазони за частотою коливань (низькі; середні; високі; дуже високі; ультрависокі; надвисокі; надзвичайно високі).
2. Діапазони за довжиною хвиль (кілометрові; гектометрові; декаметрові; метрові; дециметрові).

Джерелами електромагнітного забруднення у виробничому приміщенні можуть бути неекрановані робочі елементи високочастотних установок (індуктори, конденсатори, ВЧ-трансформатори, фідерні лінії, батареї конденсаторів, котушки коливальних контурів тощо).

З кожним роком різні країни нарощують енергопотужності, внаслідок чого електромагнітне поле (ЕМП) антропогенного походження стало значимим екологічним фактором з високою біологічною активністю. В 1995 році Всесвітньою Організацією Охорони Здоров'я навіть був введений термін “глобальне електромагнітне забруднення довкілля”. ЕМП антропогенного походження мають інші характеристики, ніж геомагнітне поле і призводять до десинхронізації міжклітинних взаємодій в біологічній системі, яка налаштована в унісон з природним електромагнітним фоном. На діяльність клітин, окремих органів та перебіг біохімічних реакцій виявляють значний вплив ЕМП як надвисокочастотного, так і низькочастотного діапазонів. Міра електромагнітного забруднення визначається як напруженість поля (В/м). Організми, які потрапляють під дію подібних полів отримують ураження, в першу чергу, нервової системи. Наприклад, напруженість поля розміром в 1000 В/м викликає в людини сильний головний біль, втому, сприяє розвитку неврозів, безсоння та важких захворювань.

Електромагнітні поля дуже негативно впливають на здоров'я людини з або біля джерела випромінювання. В діапазоні промислових частот більше негативний вплив на біологічний об'єкт має електрична складова поля.

Чутливими до електромагнітного випромінювання є різнопланові нейродинамічні процеси які, в свою чергу, перемикають організм на патологічний або стресовий режим функціонування.

Неодмінно треба враховувати функціональні і стійкісні характеристики організму людини на вплив різних чинників. Як правило, результатом впливу на організм випромінювання в діапазоні від 30 кГц – 300 МГц є:

- загальна слабкість;
- втома;
- порушення сну;
- головний біль;
- біль в ділянках серця.

Також виникає певний ряд симптомів, які свідчать про порушення роботи органів. Погіршуються різні природні рефлексії, такі як, статеві та харчові, діяльність серцево-судинної системи, фіксуються зміни показників білкового та вуглеводного обміну. Змінюється склад крові. При тривалому та інтенсивному випроміненні виникають професійні захворювання.

## **5.2. Заходи щодо захисту від шуму, вібрацій та електромагнітного випромінювання**

При нормуванні шуму враховуються різні його види.

Санітарно-гігієнічне нормування шуму, як правило, проводять двома методами:

- методом граничних спектрів;
- методом рівня звуку.

Метод граничних спектрів застосовують для нормування постійного шуму, передбачає обмеження рівнів звукового тиску в октавних смугах із середніми геометричними частотами. Сукупність цих граничних октавних рівнів називають граничним спектром.

Метод рівнів звуку застосовують для орієнтовної гігієнічної оцінки постійного шуму та визначення непостійного шуму. Наприклад, зовнішнього шуму роботів-маніпуляторів, транспортних засобів. Вимірний рівень дає змогу характеризувати величину шуму одним показником. Рівень шуму у такому випадку вимірюють спеціальним пристроєм, шумоміром. Де за допомогою певної фільтрації знижена чутливість до низько- та високо- частотних шумів.

Заходи для зниження рівня шуму поділяють на колективні та індивідуальні.

До засобів колективного захисту можна віднести:

- зменшення шуму в самому джерелі;
- зменшення шуму на шляху його поширення;
- лікувальні заходи;

- організаційно-технічні заходи.

Спосіб зменшення шуму в джерелі вважається найбільш радикальним з усіх. Реалізовується за допомогою устаткування та досягається за допомогою певних заходів і засобів:

- проведення статичного та динамічного зрівноважування і балансування;
- виготовлення деталей з неметалевих матеріалів (пластмас, текстоліту, гуми);
- чергування металевих та неметалевих деталей;
- підвищення точності виготовлення деталей та якості складання вузлів і устаткування;
- зменшення зазорів у з'єднаннях шляхом зменшення припусків;
- застосування мащення деталей, що труться та ін.

Засоби які зменшують шум на шляху його надходження, як правило, поділяються на архітектурно-планувальні та акустичні. До індивідуальних методів захисту можливо віднести навушники, протишумові вкладки та шоломи.

Нормування і захист від вібраційних коливань також важливий аспект. Розрізняють гігієнічне та технічне нормування вібрації. Гігієнічне нормування регламентує відповідні умови щодо захисту від вібрацій людину, технічне нормування регламентує умови до захисту від вібрацій устаткування. Гігієнічне нормування вібрації дає можливість забезпечити вібробезпеку умов праці.

До гігієнічних та технічних засобів захисту від вібрацій можна віднести:

- створення нових конструкцій машин, обладнання та інструментів, вібрація яких не виходить за безпечні межі, а зусилля натискання не перевищує 15-20 кг;
- усунення дисбалансу мас, що обертаються, шляхом їх збалансування;
- усунення безпосереднього контакту людини з віброуючим обладнанням шляхом впровадження дистанційного керування, промислових робіт, автоматизації і зміни технологічних операцій;



- збалансування робочих частин машини;
- усунення дефектів розбобтування частин;
- використання динамічних віброгасників, які представляють коливальну систему з резонансною частотою, що збігається з частотою вібрації конструкції;

- амортизація вібрацій — використання методу поглинання енергії ударів.

До методично-профілактичних методів можна віднести:

- спеціальний режим праці і відпочинку;
- медичні огляди;
- курси.

Нормування і захист від електромагнітного випромінювання: нормування електромагнітних випромінювання радіочастотного діапазону здійснюється згідно із ГОСТ 12.1.006-84 "Електромагнітні поля радіочастот. Припустимі рівні на робочих місцях і вимоги до впровадження контролю", ДСН 239-96 "Державні санітарні норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань" і ДСанПіН 3.3.6.096-2002 "Державні санітарні норми та правила під час роботи з джерелами електромагнітних полів".

Згідно з цими документами нормування електромагнітних випромінювань здійснюється в діапазоні частот 50кГц – 300 ГГц.

Основними методами захисту від електромагнітного випромінювання є:

- захист часом;
- захист відстанню;
- екранування джерел випромінювання;
- екранування робочих місць;
- організаційні методи захисту;
- засоби індивідуального захисту.

Захист часом використовується у випадках, коли не можливо знизити інтенсивність випромінювання іншими методами.

В методі захисту відстанню враховують відстані в яких гранично допустимий рівень випромінювання буде відповідати нормам. Використовується даний метод у випадках, коли інші методи використати також не вдається.

Екранування джерел відбувається за допомогою створення металевих листів або сіток у вигляді камер. Процес екранування відбувається тоді, коли у товщі екрану починає виникати поле протилежного напрямку.

Екранування робочих місць виконується лише тоді, коли не можливо екранувати пристрої. Реалізовується за допомогою улаштування робочих місць з покриттям із поглинаючих матеріалів.

Висновки:

В сучасному світі неймовірною кількістю збільшилися різні техногенні чинники, які забруднюють навколишнє середовище. Застосування аеропортових роботів-маніпуляторів дозволяє покращити фактори швидкодії, продуктивності, якості обслуговування багажу. Це підвищення, в свою чергу, призводить до підвищення показника ефекту, яке напряму залежить до ефективності та якості впливу робочого процесу на навколишнє середовище. Все це, в сучасних умовах використання, дозволяє мінімізувати засмічення оточуючого середовища.

Також, у зв'язку з динамічним розвитком та широким розповсюдженням заміни людського фактору на літальні апарати, найбільш негативним факторами є проблеми шуму, вібрацій та електромагнітного випромінювання.

У даному розділі було розглянуто проблеми та шкідливі фактори, які несуть в собі дані негативні чинники. Будь-який з цих факторів має негативний вплив на здоров'я живих організмів. Тому проблема усунення або зменшення негативних факторі лежить в основі планування сучасної авіаційної галузі.

Було розглянуто методи нормування рівню шуму, вібрації та випромінювання. Також розглянуто методи, заходи та засоби зниження впливу негативних впливів.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Луценко В. В. «Система керування синхронним електродвигуном» дипломний проект на здобуття освітнього ступеню «Бакалавр» зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» 2019 р. – 46 с.
2. А. Г. Лютаревич, С. Ю. Долингер, Е .А. Вяткина, В. В. Тевс. Моделирование электродвигуна з постійними магнітами для безпілотного літального апарату. Омский государственный технический университет , г. Омск, 2017. – 6с.
3. Виноградов А.Б. Векторне керування електроприводами змінного струму /«Іванівський державний енергетичний університет імені В.І. Леніна ».– Іваново, 2008.– 298 с.
4. Аязян Г.К. Розрахунок автоматичних систем з типовими алгоритмами регулювання: Навчальний посібник. - Уфа: вид. ННІ, 1989. -136 с.
5. Пушкар М. С. Проектування систем автоматизації : навч. посібник / М.С.Пушкар, С. М. Проценко – Д. : Національний гірничий університет, 2013. – 268с.
6. Федоров Ю. Н. Справочник инженера по АСУТП: проектирование и разработка : учебно-практическое пособие / Ю. Н. Федоров – Москва : Инфра-Инженерия, 2008. – 928 с.
7. Новосьолов О.Н., Фомін А.Ф. Основи теорії та розрахунку інформаційно-вимірювальних систем. - 2-е вид., Перероб. і доп. - М .: Машинобудування, 1991. - 334 с.
8. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. Лаборатория базовых знаний. – М. : Бином, 2004. – 79 с.
9. Деменков Н. П. Системы автоматического управления на основе программируемых логических контроллеров / Н. П. Деменков – Москва : 2008. – 76с.
10. Пістун Є. П. Основи автоматики та автоматизації: навч. посіб. / Є. П. Пістун, І. Д. Стасюк; Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Львів : Вид-во Нац. Ун-ту "Львів. політехніка", 2014. – 333 с.

11. Попович М.Г., Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навчальний посібник / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, І.Б. Клепіков ; за ред. М.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. – К. : «Либідь». – 2005. 680с.

12. Закон України "Про охорону праці " № 2694 - XII. Від 1992.10.14– Відомості Верховної Ради України, 1992 р. – 668 с.

13. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» 1991 / Юридична енциклопедія ; [в 6-ти т. / ред. кол. Ю. С. Шемшученко (відп. ред.)]. –К. : Українська енциклопедія, 1998. – 744 с.

14. Луценко В. В. «ВЕКТОРНЕ УПРАВЛІННЯ БЕЗКОЛЕКТОРНИМ ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БПЛА», VI ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ УЧЕНИХ І СТУДЕНТІВ "ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ НА ТРАНСПОРТІ" УДК 629.7.03:629.7.014-519, 2019, 4.