

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Управління енергетичними процесами»

Кафедра «Електротехніка та електромеханіка»

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи магістр

на тему: «Енергозбереження засобами електроприводу на підприємствах залізниць»

за освітньою програмою: «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

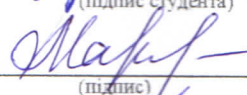
зі спеціальності: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав: студент групи «ЕП2121»

Керівник:

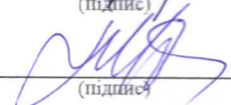
  
(підпис студента)

/Тетяна ТРУШИНА/  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

  
(підпис)

/доц. Оксана МАРЕНИЧ/  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:

  
(підпис)

/доц. Оксана КАРЗОВА/  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:  
ОП та безпека в НС  
(назва розділу)

  
(підпис)

// проф. Олег САБЛІН//  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

//  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

//  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

//  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

  
(підпис)

Дніпро – 2022 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine  
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty «Energy Process Control»

Department «Electrical engineering and electromechanics»

Explanatory Note  
to Bachelor's Thesis

on the topic: « Energy saving by means of electric drives at railway enterprises »  
according to educational curriculum «Electromechanical automation systems and electric drive»

in the Speciality: «141 Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics»

Done by the student of the group EP2121: /Tetiana TRUSHYNA /

Scientific Supervisor: /Oksana MARENYCH/

Normative controller: /Oksana KARZOVA/

Supervisors

|                            |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| <u>LP and safety in ES</u> | <u>/ /Oleh SABLIN//</u>   |
| (Chapter title heading)    | (position, name, surname) |

|                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| <u>/ /</u>              | <u>/ /</u>                |
| (Chapter title heading) | (position, name, surname) |

|                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| <u>/ /</u>              | <u>/ /</u>                |
| (Chapter title heading) | (position, name, surname) |

|                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| <u>/ /</u>              | <u>/ /</u>                |
| (Chapter title heading) | (position, name, surname) |

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Факультет «Управління енергетичними процесами»

Кафедра: «Електротехніка та електромеханіка»

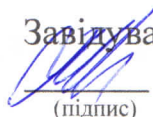
Рівень вищої освіти: магістр

Освітня програма: «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

Спеціальність: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕТЕМ

 /Андрій МУХА/  
(підпис)

Дата 30.10.2022 р.

### ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

студенту Трушина Тетяна Юріївна

1. Тема роботи: «Енергозбереження засобами електроприводу на підприємствах залізниць»

Керівник роботи: Маренич Оксана Леонідівна, доцент

затверджені наказом № 729ст від 29.10.2021

2. Строк подання студентом роботи: 01.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: В якості базового прийняти підприємство, на якому ремонтуються декілька видів рухомого складу.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: Можливі напрями енергозбереження в електроприводі. Обґрунтування обраного заходу енергозбереження з урахуванням особливостей технологій на базовому підприємстві.

Визначення нестандартного обладнання для проведення технологічних процесів у відповідності з ДСТУ 3886-99

4.2 Основна частина: Розробка алгоритму і проведення досліджень по ефективності застосування обраного засобу енергозбереження. Кількісна оцінка активних втрат в приводах мийних машин в залежності від кількості пар полюсів двигуна

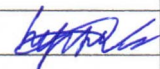
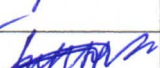
4.3 Охорона праці та захист навколишнього середовища: Охорона праці та безпека при надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Технічні характеристики машин для мийки тягових електродвигунів ММД-12А та А3024. 2. Розробка алгоритму досліджень.

3. Графіки залежностей для мийних машини ММД-12А та А3024.

4. Приклади нестандартного обладнання

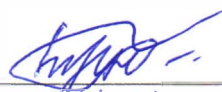
## 6. Консультанти розділів роботи:

| Розділ                          | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Завдання видав:<br>(підпис консультанта, дата)                                                    | Завдання прийняв:<br>(підпис студента, дата)                                                      |
|---------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Основна частина                 | Маренич О.Л.                              |                |                |
| Охорона праці та безпека при НС | проф. Саблін О.І.                         | <br>01.11.22р. | <br>04.11.22р. |
|                                 |                                           |                                                                                                   |                                                                                                   |
|                                 |                                           |                                                                                                   |                                                                                                   |

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи                                                                                            | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Вступ                                                                                                                          | 30.10.22                      | 5%       |
| 2     | Розділ 1. Можливі напрями енергозбереження в електроприводі                                                                    | 01.11.22                      | 3%       |
| 3     | Розділ 2. Обґрунтування обраного заходу енергозбереження з урахуванням особливостей технологій на базовому підприємстві.       | 03.11.22                      | 5%       |
| 4     | Розділ 3. Визначення нестандартного обладнання для проведення технологічних процесів у відповідності з ДСТУ3886-99             | 06.11.22                      | 10%      |
| 5     | Розділ 4. Розробка методики (алгоритму) і проведення досліджень по ефективності застосування обраного засобу енергозбереження. | 11.11.22                      | 30%      |
| 6     | Розділ 5. Кількісна оцінка активних втрат в приводах мийних машин в залежності від кількості пар полюсів двигуна               | 17.11.22                      | 30%      |
| 7     | Розділ 6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях                                                                    | 22.11.22                      | 10%      |
| 8     | Висновки та рекомендації                                                                                                       | 24.11.22                      | 7%       |
| 9     | Подання кваліфікаційної роботи до кафедри                                                                                      | 01.12.22                      |          |
| 10    | Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії                                                              | 21.12.22                      |          |

Студент

  
(підпис)

Тетяна ТРУШИНА

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник роботи

  
(підпис)

доц. Оксана МАРЕНИЧ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

| №<br>ряд<br>ка | Фор<br>мат | Позначення      | Назва                        | Кільк.<br>арк. | №<br>екз. | Прим. |
|----------------|------------|-----------------|------------------------------|----------------|-----------|-------|
| 1              |            |                 | <u>Документація загальна</u> |                |           |       |
| 2              |            |                 | Заново розроблена            |                |           |       |
| 3              | A4         | 7.141.170085.ПЗ | Пояснювальна записка         |                |           |       |
| 4              |            |                 |                              |                |           |       |
| 5              |            |                 | Запозичена                   |                |           |       |
| 6              |            |                 |                              |                |           |       |
| 7              |            |                 | <u>Графічна частина</u>      |                |           |       |
| 8              |            |                 | Заново розроблена            |                |           |       |
| 9              | A4         | 7.141.170085.01 | Технічні характеристики      | 1              |           |       |
| 10             |            |                 | машини для мийки тягових     |                |           |       |
| 11             |            |                 | електродвигунів ММД-12А      |                |           |       |
| 12             |            |                 | Технічні характеристики      |                |           |       |
| 13             |            |                 | машини для мийки тягових     |                |           |       |
| 14             |            |                 | Електродвигунів А3024        |                |           |       |
| 15             |            |                 |                              |                |           |       |
| 16             | A4         | 7.141.170085.02 | Розробка алгоритму           | 1              |           |       |
| 17             |            |                 | досліджень                   |                |           |       |
| 18             |            |                 |                              |                |           |       |
| 19             | A4         | 7.141.170085.03 | Графіки залежностей для      | 1              |           |       |
| 20             |            |                 | машин ММД-12А та А3024       |                |           |       |
| 21             |            |                 |                              |                |           |       |
| 22             | A4         | 7.141.170085.04 | Приклади нестандартного      | 1              |           |       |
| 23             |            |                 | обладнання                   |                |           |       |
| 24             |            |                 |                              |                |           |       |
| 25             |            |                 | Запозичена                   |                |           |       |
| 26             |            |                 |                              |                |           |       |
| 27             |            |                 | <u>Електронна частина</u>    |                |           |       |

|             |              |          |                                                                                     |          |                                     |                                                     |       |        |  |  |
|-------------|--------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------|--------|--|--|
|             |              |          |                                                                                     |          | 7.141.170085.ВР                     |                                                     |       |        |  |  |
| Зм.         | Лис.         | № докум. | Підпис                                                                              | Дата     | Відомість<br>кваліфікаційної роботи | Літ..                                               | Лист. | Листів |  |  |
| Розробив    | Трушина Т.Ю. |          |  | 04.12.22 |                                     |                                                     |       |        |  |  |
| Осн. керів. | Маренич О.Л  |          |  | 04.12.22 |                                     |                                                     | 5     | 70     |  |  |
| Консульт.   |              |          |                                                                                     |          |                                     |                                                     |       |        |  |  |
| Н. контр.   | Карзова О.О. |          |  | 04.12.22 |                                     |                                                     |       |        |  |  |
| Зав. каф.   | Муха А.М.    |          |  | 04.12.22 |                                     |                                                     |       |        |  |  |
|             |              |          |                                                                                     |          |                                     | МОН України. УДУНТ<br>Кафедра ЕТЕМ, група<br>ЕП2121 |       |        |  |  |

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему: «Енергозбереження засобами електроприводу на підприємствах залізниць» містить: - 70 сторінок основного тексту, 5 таблиці, 2 рисунка, 30 літературних джерел.

Мета роботи – розробка рекомендацій по енергозбереженню в електродвигунах електроприводів нестандартного обладнання на підприємствах залізниць з ремонту декількох видів рухомого складу

У розділі 1 подано можливі напрями енергозбереження в електроприводі.

У розділі 2 обґрунтування обраного заходу енергозбереження з урахуванням особливостей технологій на базовому підприємстві. Наглядно навели дані, що дозволяють оцінити зміну ККД ( $\eta$ ) і  $\cos\varphi$  при перемиканні обмоток для різних коефіцієнтів завантаження двигуна  $k_3$ .

У розділі 3 визначення нестандартного обладнання та типу електродвигунів приводу цього обладнання, для проведення технологічних процесів у відповідності з ДСТУ 3886-99

У розділі 4 показана розробка алгоритму і проведення досліджень по ефективності застосування обраного засобу енергозбереження.

Розділ 5 з використанням наведеного алгоритму розрахована кількісна оцінка активних втрат в приводах мийних машин в залежності від кількості пар полюсів двигуна

У розділі 6 розглянуто питання техніки безпеки при експлуатації електроприводів мийних машин тягових двигунів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕЛЕКТРОПРИВОД, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, РУХОМИЙ СКЛАД, НЕСТАНДАРТНЕ ОБЛАДНАННЯ, МИЙНА МАШИНА, АЛГОРИТМ, НЕДОВАНТАЖЕНИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН.

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 6    |

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                            |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ВСТУП.....                                                                                                                                                                 | 10    |
| РОЗДІЛ 1 МОЖЛИВІ НАПРЯМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ .....                                                                                                           |       |
| РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО ЗАХОДУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЙ НА БАЗОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ.....                                                | 11-14 |
| РОЗДІЛ 3 ВИЗНАЧЕННЯ НЕСТАНДАРТНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ТИПУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРИВОДУ ЦЬОГО ОБЛАДНАННЯ, ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ВІДПОВІДНОСТІ З ДСТУ 3886-99 ..... | 15-18 |
| 3.1 Технічні характеристики деякого універсального обладнання .....                                                                                                        | 15-18 |
| РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ І ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ОБРАНОГО ЗАСОБУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ .....                                                    | 19-34 |
| 4.1 Розрахунок залежностей $\Delta P_{ЕК} = f(k_3)$ для машини ММД-12А.....                                                                                                | 21-26 |
| 4.1.1 Машина мийна ММД-12А .....                                                                                                                                           | 21-24 |
| 4.1.2 Розрахунок залежностей $\Delta P_{ЕК} = f(k_3)$ для машини ММД-12А при коефіцієнтах завантаження $0 < k_3 \leq 0,5$ .....                                            | 24-26 |
| 4.2 Розрахунок залежностей $\Delta P_{ЕК} = f(k_3)$ для машини А3024 .....                                                                                                 | 26-34 |
| 4.2.1 Машина мийна А3024 .....                                                                                                                                             | 26-28 |
| 4.2.2 Розрахунок залежностей $\Delta P_{ЕК} = f(k_3)$ для машини ММД-12 при                                                                                                |       |

|           |      |              |                     |          |                                                                     |                                                     |   |  |        |  |         |  |
|-----------|------|--------------|---------------------|----------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---|--|--------|--|---------|--|
|           |      |              |                     |          | Пояснювальна записка                                                |                                                     |   |  |        |  |         |  |
|           |      |              |                     |          | Енергозбереження засобами електроприводу на підприємствах залізниць | Літ.                                                |   |  | Маса   |  | Масштаб |  |
| Змн.      | Арк. | № докум.     | Підпис              | Дата     |                                                                     |                                                     |   |  | 1      |  | 1:1     |  |
| Розробив  |      | Трушина Т.Ю. | <i>Трушина Т.Ю.</i> | 01.12.22 |                                                                     |                                                     |   |  |        |  |         |  |
| Перевірив |      | Маренич О.Л. | <i>Маренич О.Л.</i> | 01.12.22 |                                                                     |                                                     |   |  |        |  |         |  |
| Т. контр. |      |              |                     |          |                                                                     | Арк.                                                | 7 |  | Аркуші |  | 70      |  |
| Реценз.   |      |              |                     |          | 7.141.170085.ПЗ                                                     | МОН України. УДУНТ<br>Кафедра ЕТЕМ, група<br>ЕП2121 |   |  |        |  |         |  |
| Н. контр  |      | Карзова О.О. | <i>Карзова О.О.</i> | 01.12.22 |                                                                     |                                                     |   |  |        |  |         |  |
| Затвердив |      | Муха А.М.    | <i>Муха А.М.</i>    | 01.12.22 |                                                                     |                                                     |   |  |        |  |         |  |

|                                                                                                                                   |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| коефіцієнтах завантаження $0 < k_3 \leq 0,5$ .....                                                                                | 28-34 |
| РОЗДІЛ 5 КІЛЬКІСНА ОЦІНКА АКТИВНИХ ВТРАТ В ПРИВОДАХ<br>МИЙНИХ МАШИН В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КІЛЬКОСТІ ПАР ПОЛЮСІВ<br>ДВИГУНА .....       | 35-50 |
| 5.1 Мийна машина ММД-12А .....                                                                                                    | 35-42 |
| 5.1.1 Загальнопромисловий електродвигун асинхронний трифазний типу<br>AIP80B2 ( $2p=p$ ).....                                     | 35-38 |
| 5.1.2 Загальнопромисловий електродвигун трифазний типу AIP100L6<br>( $6p=6$ ) .....                                               | 38-40 |
| 5.1.3 Загальнопромисловий електродвигун асинхронний трифазний типу<br>AIP112MA8 ( $8p=8$ ) .....                                  | 40-42 |
| 5.2 Мийна машина А3024 .....                                                                                                      | 42-50 |
| 5.2.1 Загальнопромисловий електродвигун асинхронний трифазний типу<br>AIP80A ( $2p=p$ ) .....                                     | 42-45 |
| 5.2.2 Загальнопромисловий електродвигун асинхронний трифазний типу<br>AIP90L6 ( $6p=6$ ).....                                     | 45-47 |
| 5.2.3 Загальнопромисловий електродвигун асинхронний трифазний типу<br>AIP100L8 ( $8p=8$ ) .....                                   | 47-50 |
| РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ<br>СИТУАЦІЯХ .....                                                               | 51-60 |
| 6.1 Вимоги безпеки під час обслуговування нестандартного обладнання на<br>підприємствах залізниць з ремонту рухомого складу ..... | 51-56 |
| 6.2 Дії працівників при аварійних ситуаціях на підприємстві.....                                                                  | 56-60 |
| ВИСНОВКИ І ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ .....                                                                                            | 61    |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....                                                                                               | 62-64 |
| СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ .....                                                                                                      | 65    |
| ДОДАТОК А .....                                                                                                                   | 66-70 |

## ВСТУП

Фактор енергозбереження є одним із визначальних для енергетичної ситуації в Україні. Від його рівня залежить ефективність функціонування національної економіки. Важливість електроенергетики відображена у ряді державних документів [1-3].

Енергозбереження - діяльність, спрямована на раціональне й економне використання електричної енергії.

Одним з основних об'єктів енергозбереження є електропривод, в тому числі й електропривод простих агрегатів (насосів, вентиляторів, транспортерів, конвеєрів та ін.) [4-11].

На підприємствах залізниць, зокрема на підприємствах по ремонту рухомого складу залізниць (РС) для отримання певного рівня механізації та автоматизації в якості електроприводів нестандартного обладнання (мийні машини, камери для обдування та фарбування та ін.) використовуються найпростіші нерегульовані електроприводи, енергозбереження в яких з урахуванням особливостей технологічних процесів по ремонту РС приділяється мало уваги. Але саме в цій групі електроприводів міститься значний резерв енергозбереження. Тому тема роботи, присвячена енергозбереженню в електроприводах на підприємствах залізниць є актуальною.

Метою дослідження є розробка рекомендацій по енергозбереженню в електродвигунах електроприводів нестандартного обладнання на підприємствах залізниць з ремонту декількох видів рухомого складу.

Енергозбереження у нашому випадку - це об'єкт (явище або процес), що породжує проблемну ситуацію та є обраним для вивчення.

Предметом досліджень є електродвигуни електроприводів нестандартного обладнання на вказаних підприємствах.

В роботі застосовані елементи евристичного методу досліджень (використання досвіду, інтуїції фахівця та його творчого мислення).

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 9    |

## РОЗДІЛ 1

### МОЖЛИВІ НАПРЯМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ

Основні напрями енергозбереження наступні.

Перший напрям – раціональний вибір електродвигуна для конкретної технологічної установки, щоб забезпечити оптимальний режим експлуатації. Цей засіб стосується найпростішого некерованого електроприводу.

Другий напрям – перехід на енергозберігаючі електродвигуни.

Третій напрям – усунення проміжних передач.

Четвертий напрям – підвищення ефективності виконання технологічного процесу.

П'ятий напрям – вибір раціональних режимів роботи й експлуатації електроприводу.

Шостий напрям – вибір раціонального типу електроприводу для конкретної технологічної установки при переході від нерегульованого електроприводу до регульованого.

Сьомий напрям – поліпшення якості електроенергії з допомогою силової перетворювальної техніки регульованого електроприводу.

Шляхи реалізації вказаних напрямів, переваги й недоліки кожного з них наведені у відповідній літературі [4-11].

Ознайомлення з вказаними напрямками електроприводу для енергозбереження дає змогу обрати найбільш оптимальний варіант енергозбереження в електродвигунах нестандартного обладнання базового підприємства згідно з завданням до магістерської роботи.

По результатам роботи опубліковані тези в матеріалах Енергетика та електромеханіка [електронний ресурс]: збірник тез доповідей секції 81 Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених, магістрантів та студентів «Наука і сталий розвиток транспорту» [12].

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 10   |

## РОЗДІЛ 2

### ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО ЗАХОДУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЙ НА БАЗОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Огляд літератури [13-16] показує, що електропривод нестандартного обладнання для ремонту РС відповідає першому та п'ятому напрямам, вказаних у цій літературі. Досліджуваний електропривод – найпростіший некерований. Перехід на енергозберігаючі електродвигуни (другий напрям) не розглядаємо, оскільки їх вартість значно вища, ніж загальнопромислових двигунів. Третій, четвертий, шостий, сьомий не розглядаємо, оскільки це в завданні непередбачено.

Сформулюємо деякі терміни, які потрібні для подальшого викладання матеріалу записки.

Нестандартне обладнання – обладнання, виготовлене спеціально для ремонту РС. Наприклад, машина мийна ММД -12А, камера для обдування тягових двигунів і допоміжних електричних машин, камера для фарбування ПК-РТ-12 та інші.

Універсальне обладнання – обладнання, призначене для виконання певного технологічного процесу при ремонті різних великогабаритних вузлів РС, вага яких змінюється у широких межах. Наприклад, камера обдування, фарбування тепловозних тягових двигунів, генераторів, гідромеханічних редукторів (ГРМ) і допоміжних машин; мийна машина високого тиску для тягових електродвигунів локомотивів ММ506 (двигуни різних типів мають різну вагу).

Особливістю технологічного процесу на базовому підприємстві є те, що завантаження асинхронного трифазного двигуна (АТД) приводу обладнання змінюється постійно через якісь проміжки часу в залежності від ваги великогабаритного вузла РС.

Наприклад, якщо після мийки відносно легкого тягового двигуна електропоїзда на мийку подають тяговий двигун потужного електровоза чи

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 11   |

тепловоза. Найбільш раціонально, на думку автора, на таких підприємствах для підвищення енергозбереження під час недовантаження АТД приводу застосувати зниження фазної напруги двигуна. Інші енергозберігаючі заходи, наведені в [17], менш ефективні, або не відповідають технології на базовому підприємстві.

В якості аналога базовому підприємству можна навести ПрАТ «Львівський локомотиворемонтний завод» [18].

На заводі ремонтується декілька видів рухомого складу (капітальний ремонт електровозів постійного та змінного струмів, тягових агрегатів та інших моделей за узгодженням із замовником).

На таких підприємствах ремонтується велика кількість великогабаритних вузлів і доцільно застосувати універсальне нестандартне обладнання.

Відомо, що існують наступні методи зниження напруги на обмотках статора ТАД. Це: перемикання статорної обмотки з «трикутника» на «зірку»; секціонування статорних обмоток; зниження напруги в силових мережах підприємств перемиканням відгалужень знижувальних трансформаторів.

З точки зору простоти виконання, надійності автономності дії тільки на конкретний ТАД найбільш раціональним для застосування на базовому підприємстві є перемикання статорної обмотки з «трикутника» на «зірку» з метою покращення енергетичних показників нерегульованих асинхронних двигунів електроприводів, нестандартного технологічного універсального обладнання, якщо коефіцієнт завантаження двигунів електроприводу  $k_3$  суттєво зменшується.

$$k_3 = \frac{P_{\text{вуз}}}{P_{\text{тран}}} \quad (1)$$

де  $P_{\text{вуз}}$  – вага великогабаритного вузла;

$P_{\text{тран}}$  – вантажопід'ємність транспортного візка, обладнання.

Крім простоти виконання, цей спосіб не потребує встановлення додаткового компенсуючого обладнання.

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 12   |

Важливо й те, що легко здійснюється і зворотнє перемикання обмоток статора із «зірки» на «трикутник».

Зниження напруги живлення зокрема при перемиканні статорної обмотки з «трикутника» на «зірку» призводить до зменшення споживання реактивної потужності (за рахунок зниження струму намагнічування, і тим самим, до підвищення  $\cos\varphi$ ). При цьому одночасно зменшуються втрати активної потужності, тобто збільшується ККД двигуна.

Величина моменту, що розвивається асинхронним двигуном, пропорційна квадрату напруги мережі живлення. Тому при перемиканні обмоток статора з «трикутника» на «зірку» внаслідок зниження моменту необхідно виконувати перевірку за перевантажувальною спроможністю і величиною пускового моменту. Ефект енергозбереження підсилюється при використанні асинхронних двигунів з відносно високим значенням струму неробочого ходу статора.

У теперішній час універсальне нестандартне обладнання використовується в різній мірі на багатьох підприємствах по ремонту РС.

Із освоєння нових видів РС в найближчому майбутньому для забезпечення технологічного процесу з достатнім рівнем механізації та автоматизації необхідно буде в суттєво більшій мірі застосувати нестандартне обладнання. Тому дослідження з метою розробки рекомендацій по раціональному використанню електроприводів цього обладнання з точки зору енергозбереження є актуальною задачею.

Захід зниження напруги за рахунок перемикання обмотки статора зі схеми  $\Delta$  на схему  $Y$  можливий при рівності номінальної фазної напруги обмотки статора двигуна і лінійної напруги живлючої мережі.

При завантаженнях двигуна, близьких до номінального рівня, обмотки статора ввімкнені за схемою  $\Delta$  і двигун працює при номінальній напрузі з повним магнітним потоком.

При зниженні завантаження обмотки двигуна перемикаються на схему  $Y$ , до обмоток підводиться знижена в  $\sqrt{3}=1,73$  рази напруга, за рахунок чого

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 13   |

знижується струм намагнічування, реактивна потужність і сумарні втрати у двигуні та системі електропостачання.

В табл. 1 та табл. 2 наведено дані, що дозволяють оцінити зміну ККД ( $\eta$ ) і  $\cos\varphi$  при перемиканні обмоток для різних коефіцієнтів завантаження двигуна  $k_3$  [17].

**Таблиця 1 – Співвідношення ККД для двох схем вмикання обмоток статора**

|                      |      |     |      |      |      |      |       |     |
|----------------------|------|-----|------|------|------|------|-------|-----|
| $k_3$                | 0,1  | 0,2 | 0,25 | 0,3  | 0,35 | 0,4  | 0,45  | 0,5 |
| $\eta_Y/\eta_\Delta$ | 1,27 | 1,1 | 1,06 | 1,04 | 1,02 | 1,01 | 1,005 | 1   |

**Таблиця 2 – Співвідношення  $\cos\varphi_Y/\cos\varphi_\Delta$  для двох схем вмикання обмоток статора при різних значеннях  $k_3$  і  $\cos\varphi_{\text{ном}}$**

| $\cos\varphi_{\text{ном}}$ | Відношення $\cos\varphi_Y/\cos\varphi_\Delta$ за коефіцієнтів завантаження $k_3$ |      |      |      |      |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|
|                            | 0,1                                                                              | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  |
| 0,78                       | 1,94                                                                             | 1,8  | 1,64 | 1,49 | 1,35 |
| 0,8                        | 1,85                                                                             | 1,73 | 1,58 | 1,43 | 1,3  |
| 0,82                       | 1,78                                                                             | 1,67 | 1,52 | 1,37 | 1,25 |
| 0,84                       | 1,72                                                                             | 1,61 | 1,46 | 1,32 | 1,22 |
| 0,86                       | 1,66                                                                             | 1,55 | 1,41 | 1,27 | 1,18 |
| 0,88                       | 1,6                                                                              | 1,49 | 1,35 | 1,22 | 1,14 |
| 0,9                        | 1,57                                                                             | 1,43 | 1,29 | 1,17 | 1,1  |
| 0,92                       | 1,5                                                                              | 1,36 | 1,29 | 1,11 | 1,06 |

Дані табл. 1 та табл. 2 показують, що при коефіцієнті завантаження  $k_3 \leq 0,5$  значення ККД і  $\cos\varphi$  у схемі «зірка», вище ніж у схемі «трикутник».

Тобто, перемикання при  $k_3 \leq 0,5$  обмотки статора зі схеми  $\Delta$  на схему  $Y$  забезпечує ефект енергозбереження.

### РОЗДІЛ 3

## ВИЗНАЧЕННЯ НЕСТАНДАРТНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ТИПУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРИВОДУ ЦЬОГО ОБЛАДНАННЯ, ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ВІДПОВІДНОСТІ З ДСТУ 3886-99

Стандарт ДСТУ 3886-99 поширюється на системи електроприводу (ЕП) з потужністю електродвигунів понад 0,5 кВт. Крім цього, з точки зору енергозбереження доцільно для досліджень обрати нестандартне універсальне обладнання, яке забезпечує технологічні процеси, тривалість яких досить значна. Цим двом умовам відповідають електроприводи обладнання, яке застосовується при таких технологічних процесах, як мийка, обдування, фарбування великогабаритних вузлів. Наприклад, мийні машини дизелів, рам візків, тягових електродвигунів, колісних пар, букс, ресор; камери для обдування та фарбування рам візків, тепловозних тягових двигунів, генераторів, гідромеханічних редукторів (ГРМ) і допоміжних машин, для обдування тягових машин і допоміжних електричних машин та інших великогабаритних вузлів [13-16].

#### 3.1 Технічні характеристики деякого універсального обладнання

В технічних характеристиках універсального нестандартного обладнання з нерегульованим електроприводом для ремонту РС в багатьох випадках потужність ТАД електроприводу транспортних візків не вказується. Тому пропонується скористатися для визначення орієнтовної потужності цього ТАД даними, наведеними, наприклад, в технічних характеристиках «Камери обдування, фарбування тепловозних тягових двигунів, генераторів, гідромеханічних редукторів (ГРМ) і допоміжних машин» [19]. В характеристиках цієї камери вказано, що потужність ТАД електроприводу транспортного візка дорівнює 2,2 кВт, а вантажопід'ємність цього візка 10 т. Тобто, на одну тону вантажу потрібна потужність ТАД приводу 0,22 кВт (0,22 кВт/т).

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 15   |

Пропонується орієнтовно визначити потужність ТАД приводу транспортного візка конкретного устаткування, якщо ця потужність в технічних характеристиках цього конкретного устаткування не вказана, як добуток 0,22 кВт на вантажопід'ємність транспортного візка в тонах.

Як правило, приймаємо при цьому, що ТАД загальнопромисловий серії АІР з синхронною частотою обертання 1500 об/хв. Коефіцієнт завантаження  $k_3$  в даному випадку визначаємо як відношення ваги великогабаритного вузла до вантажопід'ємності транспортного візка.

В наших дослідженнях в якості великогабаритних вузлів приймаємо тягові двигуни та допоміжні електричні машини. Один з найважчих тягових двигунів - це двигун типу НБ-523В вагою 4925 кг. Тому вантажопід'ємність транспортного візка  $P_{\text{тран}}$  обладнання повинна бути більшою.

Для забезпечення ефекту енергозбереження, як витікає із табл. 1 та табл. 2, повинно бути  $k_3 < 0,5$ . В нашому випадку згідно формули (1)

$$P_{\text{тран}} = \frac{P_{\text{вуз}}}{k_3} = \frac{5000}{0,5} = 10000$$

Для досліджень енергозбереження при перемиканні обмотки статора зі схеми  $\Delta$  на схему  $Y$  приймаємо машину мийну ММД-12А [20], рис.1.

Доцільність вказаного підходу ще й в тому, що цю машину можна використовувати й для миття інших великогабаритних вузлів відповідних габаритних розмірів з  $5000 \text{ кг} < P_{\text{вуз}} \leq 10000 \text{ кг}$ , що зменшує кількість одиниць необхідного обладнання. Але при  $5000 \text{ кг} < P_{\text{вуз}} \leq 10000 \text{ кг}$  перемикання обмотки статора зі схеми  $\Delta$  на схему  $Y$  не має сенсу.

#### Технічні характеристики ММД-12А

|                                                     |       |
|-----------------------------------------------------|-------|
| 1. Живляча мережа, В                                | 380   |
| 2. Максимальне навантаження транспортного візка, кг | 10000 |
| 3. Час мийки, хв                                    | до 40 |
| 4. Габаритний розмір деталей, що миються, мм        |       |
| - довжина                                           | 8000  |

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 16   |

|                                          |      |
|------------------------------------------|------|
| - ширина                                 | 3360 |
| 5. Висота транспортного візка камери, мм | 1550 |
| 6. Потужність ТАД ЕП, кВт                | 2,2  |

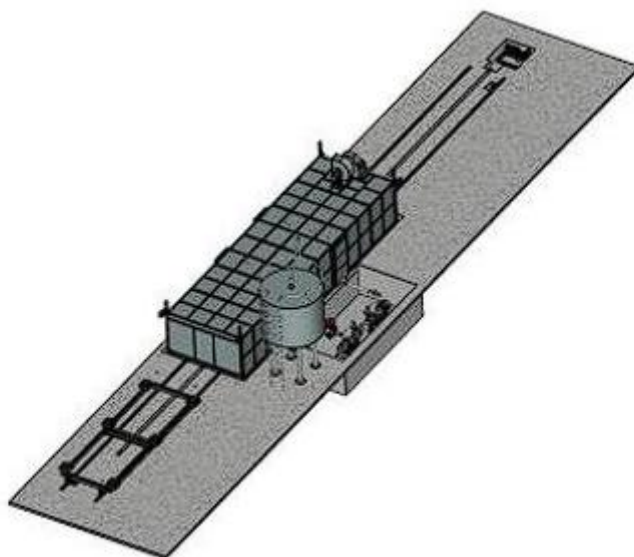


Рис.1 – Машина мийна ММД-12

Призначена для обмивання рам візків, колісних пар та інших великогабаритних вузлів (букс, ресор, гальмівних тяг та ін.) тепловозів, електровозів і електропоїздів. Мийна машина має чотири виконання: ММД-8 типи А74М.00.00 і А74М.00.00-02, з довжиною обмиваної камери 8м призначені для обмивання візків електропоїздів і дають змогу мити нерозібрані візки зі знятими тяговими двигунами; ММД-12МЗ, типи А74М.00.00-01 і А74М.00.00-03 з довжиною обмиваної камери 12 м. для омивання рам візків тепловозів і електровозів. Виконання А74М.00.00 і А74М.00.00 01 мають ворота тільки з одного боку, виконання А74М.00.00 02 і А74М.00.00-03 мають ворота з двох сторін.

Для порівняння проведемо також дослідження при використанні технологічного процесу мийки з допомогою мийної машини А3024 «Машина для мийки тягових електродвигунів прохідна» [20].

#### Технічні характеристики А3024

|                                                                            |       |
|----------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1. Живляча мережа, В                                                       | 380   |
| 2. Максимальне навантаження транспортного візка, кг                        | 5500  |
| 3. Час мийки, хв                                                           | до 30 |
| 4. Тип тягових двигунів, які миються – ТЛ2К(НБ-523В), Н6418, ТЕ006, ЭД118; |       |
| 5. Потужність ТАД ЕП, кВт                                                  | 1,5   |

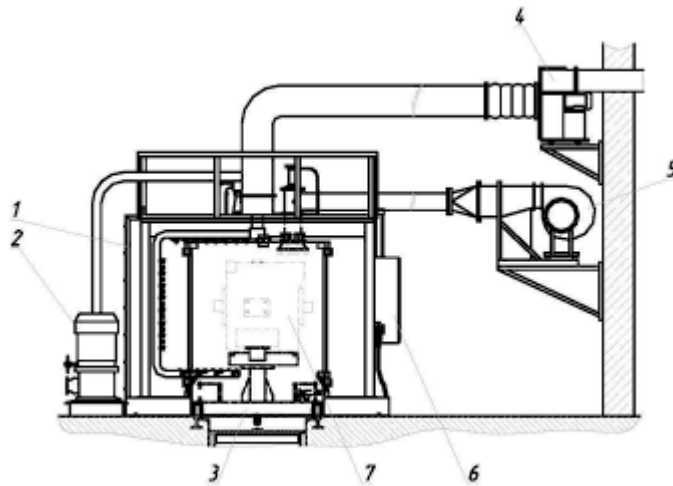


Рис.2 – Мийна машина А3024

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ І ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ОБРАНОГО ЗАСОБУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

У відповідальності з вимогами [5, 6, 22] та з використанням положень теоретичних основ електротехніки, теорії електроприводу, електричних машин та ін., пропонується наступний алгоритм для проведення досліджень по ефективності застосування перемикання обмоток статора ТАД зі схеми  $\Delta$  на  $Y$  приводу нестандартного обладнання при ремонті РС.

1. Кутова швидкість  $\omega_0$  обертання поля статора, номінальна кутова швидкість  $\omega_{\text{ном}}$  та номінальний момент двигуна:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p} \quad (2)$$

де  $f = 50$  Гц – частота струму у живлячій мережі;

$p$  – кількість пар полюсів ТАД.

$$\omega_{\text{ном}} = \omega_0(1 - S_{\text{ном}}) \quad (3)$$

де  $S_{\text{ном}}$  - номінальне ковзання ТАД приводу.

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} \quad (4)$$

де  $P_{\text{ном}}$  - номінальна потужність ТАД приводу.

2. Приведений номінальний струм ротора :

$$I'_{2\text{ном}} \approx I_{1\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}}, \quad (5)$$

де  $I_{\text{ном}}$  - номінальний струм статора ТАД приводу,

$\cos \varphi_{\text{ном}}$  - номінальний коефіцієнт потужності ТАД.

3. Струм намагнічування ТАД:

$$I_{\mu} \approx I_{1\text{ном}} \left( \sin \varphi_{\text{ном}} - \frac{\cos \varphi_{\text{ном}}}{\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}} \right) \quad (6)$$

де

$$\lambda_m = \frac{M_{\text{к}}}{M_{\text{ном}}} \quad (7)$$

$M_K$  - критичний момент,  $M_K = M_m \cdot M_m$  - максимальний момент,

$$\sin \varphi_{\text{НОМ}} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{НОМ}}}$$

4. Приведенний опір статора активний:

$$R'_2 = \frac{M_{\text{НОМ}} \omega_0 S_{\text{НОМ}}}{3I_{2\text{НОМ}}'^2} \quad (8)$$

5. Реактивна потужність у номінальному режимі:

$$Q_{\text{НОМ}} = 3U_{\phi} I_{1\text{НОМ}} \sin \varphi_{\text{НОМ}} \quad (9)$$

$$\text{де } U_{\phi} = U_{\text{НОМ}} = 380 \text{ В}$$

6. Реактивна потужність режиму неробочого ходу:

$$Q_0 = 3U_{\phi} I_{\mu} \sin \varphi_0 \quad (10)$$

$$\text{де приймаємо } \cos \varphi_0 = 0,2; \sin \varphi_0 = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_0}$$

7. Індуктивний опір короткого замикання в схемі заміщення:

$$x_K = \frac{R'_2 (Q_{\text{НОМ}} - Q_0)}{M_{\text{НОМ}} \omega_0 S_{\text{НОМ}}} \quad (11)$$

8. Активний опір кола статора:

$$R_1 = \frac{(3U_{\phi}^2 / 2\omega_0 M_K)^2 - x_K^2}{2(3U_{\phi}^2 / 2\omega_0 M_K)} \quad (12)$$

$$\text{Де } M_K = \lambda_m \cdot M_{\text{НОМ}}$$

9. Повні номінальні втрати:

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}} \frac{1 - \eta_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}} \quad (13)$$

де  $\eta_{\text{НОМ}}$  - номінальний коефіцієнт корисної дії ТАД.

10. Змінні номінальні втрати:

$$\Delta P'_{\text{НОМ}} = \Delta P'_{1\text{НОМ}} + \Delta P'_{2\text{НОМ}} = 3I_{1\text{НОМ}}^2 R_1 + 3I_{2\text{НОМ}}^2 R'_2 \quad (14)$$

11. Постійні втрати потужності:

$$K = \Delta P_{\text{НОМ}} - \Delta P'_{\text{НОМ}} \quad (15)$$

12. Зменшення реактивної потужності  $\Delta Q_{\Delta-Y}$  у разі перемикавання обмоток статора зі схеми «трикутника» на схему «зірка»:

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = (2Q_0 / 3) - 2k_3^2 \Delta Q_{\text{ном}} \quad (16)$$

$$\text{де } \Delta Q_{\text{ном}} = Q_{\text{ном}} - Q_0 \quad (17)$$

$k_3 = 0,3$  - коефіцієнт завантаження, при якому здійснюється перемикавання обмоток

13. Зменшення втрат активної потужності  $\Delta P_{\Delta-Y}$  у разі перемикавання обмоток статора зі схеми «трикутник» на схему «зірка»:

$$\Delta P_{\Delta-Y} = (2\Delta P_0 / 3) - 2k_3^2 \Delta P_{\text{ном}} \quad (18)$$

$$\Delta P_0 = 0,35 \cdot \Delta P_{\text{ном}} \quad (19)$$

14. Загальне зменшення втрат потужності:

$$\Delta P_{EK} = K_E \cdot \Delta Q_{\Delta-Y} + \Delta P_{\Delta-Y} \quad (20)$$

$K_E = 0,1$  - коефіцієнт зменшення втрат потужності за рахунок зменшення реактивної потужності, кВт/квар [16].

15. Загальне зменшення втрат потужності у відсотках

$$\Delta P_{EK} \% = \frac{\Delta P_{EK}}{\Delta P_{\text{ном}}} \cdot 100\% \quad (21)$$

4.1 Розрахунок залежностей  $\Delta P_{EK} = f(k_3)$  для мийної машини ММД-12А

З використанням запропонованого алгоритму проведемо дослідження ефективності з точки зору енергозбереження перемикавання обмотки статора зі схеми  $\Delta$  на схему  $Y$  при значеннях коефіцієнта завантаження  $0 < k_3 \leq 0,5$  для машини ММД-12А.

#### 4.1.1 Машина мийна ММД-12А

Відповідно до технічних характеристик ММД-12А в якості ТАД приводу обираємо загальнопромисловий електродвигун типу АІР90L4 [21] з наступними технічними характеристиками:

Технічні характеристики

1. Номінальний струм  $I_{\text{ном}} = 2,95 \text{ А}$

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 21   |

2. Потужність  $P_{\text{ном}} = 2,2 \text{ кВт}$
3. Частота обертання  $n_2 = 1410 \text{ об/хв}$
4. Коефіцієнт корисної дії  $\eta_{\text{ном}} = 0,8\%$
5. Коефіцієнт потужності  $\cos\varphi_{\text{ном}} = 0,81$
6. Частота струму живлючої мережі  $f = 50 \text{ Гц}$
7. Номінальне ковзання  $S_{\text{ном}} = 0,06 = 6\%$
8. Схема з'єднання обмоток статора у номінальному режимі - ( $\Delta$ ) – трикутник.
9. Фазна напруга  $U_{\text{ф}} = 380 \text{ В}$
10. Відношення  $\frac{M_m}{M_{\text{ном}}} = 1,3 = \lambda_m$
11. Коефіцієнт завантаження приймаємо  $k_z = 0,3$
12. Кількість пар полюсів – 2
1. За формулою (2):

$$\omega_0 = \frac{2\pi 50}{2} = 157 \text{ рад/с}$$

За формулою (3):

$$\omega_{\text{ном}} = 157 \cdot (1 - 0,06) = 147,58 \text{ рад/с}$$

За формулою (4):

$$M_{\text{ном}} = \frac{2200}{147,58} = 14,9 \text{ Нм}$$

2. За формулою (5):

$$I'_{2\text{ном}} = 2,95 \cdot 0,81 = 2,39 \text{ А}$$

3. За формулою (6):

$$I_{\mu} = 2,95 \cdot \left( 0,586 - \frac{0,81}{2,3 + \sqrt{2,3^2 - 1}} \right) = 1,183 \text{ А}$$

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - 0,8^2} = 0,556$$

4. За формулою (8):

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 22   |

$$R_2' = \frac{14,9 \cdot 157 \cdot 0,06}{3 \cdot 2,39^2} = 8,19 \text{ Ом}$$

5. За формулою (9):

$$Q_{\text{НОМ}} = 3 \cdot 380 \cdot 2,95 \cdot 0,586 = 1970,72 \text{ вар}$$

6. За формулою (10):

$$Q_0 = 3 \cdot 380 \cdot 1,183 \cdot 0,98 = 1321,65 \text{ вар}$$

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - 0,2^2} = 0,98$$

7. За формулою (11):

$$x_K = \frac{8,19 \cdot (1970,72 - 1321,65)}{14,9 \cdot 157 \cdot 0,06} = 37,87 \text{ Ом}$$

8. За формулою (12):

$$R_1 = \frac{(3 \cdot 380^2 / 2 \cdot 157 \cdot 34,27)^2 - 37,87^2}{2 \cdot (3 \cdot 380^2 / 2 \cdot 157 \cdot 34,27)} = 2,32 \text{ Ом}$$

$$M_K = 2,3 \cdot 14,9 = 34,27 \text{ Нм}$$

9. За формулою (13):

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = 2200 \cdot \frac{1 - 0,8}{0,8} = 550 \text{ Вт}$$

10. За формулою (14):

$$\Delta P'_{\text{НОМ}} = 3 \cdot 2,95^2 \cdot 2,32 + 3 \cdot 2,39^2 \cdot 8,19 = 200,92 \text{ Вт}$$

11. За формулою (15):

$$K = 550 - 220,92 = 349,08 \text{ Вт}$$

12. За формулою (16):

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 1321,65}{3} \right) - 2 \cdot 0,3^2 \cdot 649,1 = 764,26 \text{ вар}$$

$$\Delta Q_{\text{НОМ}} = 1970,72 - 1321,65 = 649,1 \text{ вар}$$

13. За формулою (18):

$$\Delta P_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 192,5}{3} \right) - 2 \cdot 0,3^2 \cdot 550 = 29,39 \text{ вар}$$

$$\Delta P_0 = 0,35 \cdot 550 = 192,5 \text{ Вт}$$

14. За формулою (20):

$$\Delta P_{EK} = 0,1 \cdot 764,26 + 29,39 = 105,79 \text{ Вт}$$

15. За формулою (21):

$$\Delta P_{EK} \% = \frac{105,79}{550} \cdot 100\% = 19,23\%$$

4.1.2 Розрахунок залежностей  $\Delta P_{EK} = f(k_3)$  для машини ММД-12 при коефіцієнтах завантаження  $0 < k_3 \leq 0,5$ .

Знайдемо загальне зменшення втрат потужності в результаті перемикання обмоток статора зі схеми  $\Delta$  на схему  $Y$  при коефіцієнтах завантаження  $0 < k_3 \leq 0,5$  (див. розділ 2).

Для розрахунків приймаємо  $k_3 = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ .

$$k_3 = 0,1$$

За формулою (16):

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 1321,65}{3} \right) - 2 \cdot 0,1^2 \cdot 649,1 = 868,12 \text{ Вт}$$

За формулою (18):

$$\Delta P_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 192,5}{3} \right) - 2 \cdot 0,1^2 \cdot 550 = 117,3 \text{ Вт}$$

За формулою (20):

$$\Delta P_{EK} = 0,1 \cdot 868,12 + 117,33 = 204,14 \text{ Вт}$$

За формулою (21):

$$\Delta P_{EK} \% = \frac{204,14}{550} \cdot 100\% = 37,12\%$$

$$k_3 = 0,2$$

За формулою (16):

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 1321,65}{3} \right) - 2 \cdot 0,2^2 \cdot 649,1 = 829,17 \text{ вар}$$

За формулою (18):

$$\Delta P_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 192,5}{3} \right) - 2 \cdot 0,2^2 \cdot 550 = 84,33 \text{ Вт}$$

За формулою (20):

$$\Delta P_{EK} = 0,1 \cdot 829,17 + 84,33 = 167,25 \text{ Вт}$$

За формулою (21):

$$\Delta P_{EK} \% = \frac{167,25}{550} \cdot 100\% = 30,41\%$$

$$k_3 = 0,4$$

За формулою (16):

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 1321,65}{3} \right) - 2 \cdot 0,4^2 \cdot 649,1 = 673,4 \text{ вар}$$

За формулою (18):

$$\Delta P_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 192,5}{3} \right) - 2 \cdot 0,4^2 \cdot 550 = -47,67 \text{ Вт}$$

За формулою (20):

$$\Delta P_{EK} = 0,1 \cdot 673,4 - 47,67 = 18,67 \text{ Вт}$$

За формулою (21):

$$\Delta P_{EK} \% = \frac{19,67}{550} \cdot 100\% = 0,89\%$$

$$k_3 = 0,5$$

За формулою (16):

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 1321,65}{3} \right) - 2 \cdot 0,5^2 \cdot 649,1 = 556,55 \text{ вар}$$

За формулою (18):

$$\Delta P_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 192,5}{3} \right) - 2 \cdot 0,5^2 \cdot 550 = -146,67 \text{ Вт}$$

За формулою (20):

$$\Delta P_{EK} = 0,1 \cdot 556,55 - 146,67 = -91 \text{ Вт}$$

$\Delta P_{EK} < 0$  , тобто загальне зменшення втрат потужності в результаті перемикання обмоток статора зі схеми  $\Delta$  на схему  $Y$  відсутнє і немає сенсу застосовувати таке перемикання.

#### 4.2 Розрахунок залежностей $\Delta P_{EK} = f(k_3)$ для машини А3024

##### 4.2.2 Машина мийна А3024

Відповідно до технічних характеристик А3024 в якості ТАД приводу обираємо загальнопромисловий електродвигун асинхронний трифазний типу АІР80В4.

Технічні характеристики:

1. Номінальний струм  $I_{\text{ном}} = 2,15 \text{ А}$
2. Потужність  $P_{\text{ном}} = 1,5 \text{ кВт}$
3. Частота обертання  $n_2 = 1400 \text{ об/хв}$
4. Коефіцієнт корисної дії  $\eta_{\text{ном}} = 0,785$
5. Коефіцієнт потужності  $\cos\varphi_{\text{ном}} = 0,78$
6. Частота струму живлючої мережі  $f = 50 \text{ Гц}$
7. Номінальне ковзання  $S_{\text{ном}} = 0,067$
8. Схема з'єднання обмоток статора у номінальному режимі - ( $\Delta$ ) – трикутник.
9. Фазна напруга  $U_{\phi} = 380 \text{ В}$
10. Відношення  $\frac{M_m}{M_{\text{ном}}} = 2,3 = \lambda_m$
11. Коефіцієнт завантаження приймаємо  $k_3 = 0,3$
12. Кількість пар полюсів – 2

Для дослідження ефективності перемикання обмотки статора зі схеми «трикутник» на схему «зірка» з точки зору енергозбереження застосуємо запропонований в них алгоритм

1. За формулою (2):

$$\omega_0 = \frac{2\pi 50}{2} = 157 \text{ рад/с}$$

За формулою (3):

$$\omega_{\text{НОМ}} = 157 \cdot (1 - 0,067) = 146,48 \text{ рад/с}$$

За формулою (4):

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{1500}{146,48} = 10,24 \text{ Нм}$$

2. За формулою (5):

$$I'_{2\text{НОМ}} = 2,15 \cdot 0,78 = 1,677 \text{ А}$$

3. За формулою (6):

$$I_{\mu} = 2,15 \cdot \left(0,626 - \frac{0,78}{2,3 + \sqrt{2,3^2 - 1}}\right) = 0,963 \text{ А}$$

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - 0,78^2} = 0,626$$

4. За формулою (8):

$$R'_2 = \frac{10,24 \cdot 157 \cdot 0,067}{3 \cdot 1,677^2} = 12,767 \text{ Ом}$$

5. За формулою (9):

$$Q_{\text{НОМ}} = 3 \cdot 380 \cdot 2,15 \cdot 0,626 = 1534,33 \text{ вар}$$

6. За формулою (10):

$$Q_0 = 3 \cdot 380 \cdot 0,96 \cdot 0,98 = 1075,86 \text{ вар}$$

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - 0,2^2} = 0,98$$

7. За формулою (11):

$$x_k = \frac{12,767 \cdot (1534,33 - 1075,86)}{10,24 \cdot 157 \cdot 0,067} = 54,34 \text{ Ом}$$

8. За формулою (12):

$$R_1 = \frac{(3 \cdot 380^2 / 2 \cdot 157 \cdot 23,55)^2 - 54,34^2}{2 \cdot (3 \cdot 380^2 / 2 \cdot 157 \cdot 23,55)} = 4,09 \text{ Ом}$$

$$M_k = 2,3 \cdot 10,24 = 23,55 \text{ Нм}$$

9. За формулою (13):

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = 1500 \cdot \frac{1 - 0,785}{0,785} = 410,83 \text{ Вт}$$

10. За формулою (14):

$$\Delta P'_{\text{НОМ}} = 3 \cdot 2,15^2 \cdot 4,09 + 3 \cdot 1,677^2 \cdot 12,767 = 164,43 \text{ Вт}$$

11. За формулою (15):

$$K = 410,83 - 146,43 = 246,4 \text{ Вт}$$

12. За формулою (16):

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 1075,86}{3} \right) - 2 \cdot 0,3^2 \cdot 458,47 = 634,72 \text{ вар}$$

$$\Delta Q_{\text{НОМ}} = 1534,33 - 1075,86 = 458,47 \text{ вар}$$

13. За формулою (18):

$$\Delta P_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 143,79}{3} \right) - 2 \cdot 0,3^2 \cdot 410,83 = 21,91 \text{ вар}$$

$$\Delta P_0 = 0,35 \cdot 410,83 = 143,79 \text{ Вт}$$

14. За формулою (20):

$$\Delta P_{EK} = 0,1 \cdot 634,72 + 21,91 = 85,38 \text{ Вт}$$

15. За формулою (21):

$$\Delta P_{EK} \% = \frac{85,38}{410,83} \cdot 100\% = 20,78\%$$

4.2.2 Розрахунок залежностей  $\Delta P_{EK} = f(k_3)$  для машини А3024 при коефіцієнтах завантаження  $0 < k_3 \leq 0,5$ .

Знайдемо загальне зменшення втрат потужності в результаті перемикання обмотки статора зі схеми  $\Delta$  на схему  $Y$  при коефіцієнтах завантаження  $0 < k_3 \leq 0,5$  для машини А3024. Для розрахунків приймаємо  $k_3 = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ .

$$k_3 = 0,1$$

За формулою (16):

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 1075,86}{3} \right) - 2 \cdot 0,1^2 \cdot 458,47 = 708,07 \text{ Вт}$$

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 28   |

За формулою (18):

$$\Delta P_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 143,78}{3} \right) - 2 \cdot 0,1^2 \cdot 410,83 = 87,63 \text{ Вт}$$

За формулою (20):

$$\Delta P_{EK} = 0,1 \cdot 708,07 + 87,63 = 158,44 \text{ Вт}$$

За формулою (21):

$$\Delta P_{EK} \% = \frac{158,44}{410,83} \cdot 100\% = 38,56\%$$

$$k_3 = 0,2$$

За формулою (16):

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 1075,86}{3} \right) - 2 \cdot 0,2^2 \cdot 458,47 = 680,56 \text{ вар}$$

За формулою (18):

$$\Delta P_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 143,78}{3} \right) - 2 \cdot 0,2^2 \cdot 410,83 = 62,98 \text{ Вт}$$

За формулою (20):

$$\Delta P_{EK} = 0,1 \cdot 680,56 + 62,98 = 118,98 \text{ Вт}$$

За формулою (21):

$$\Delta P_{EK} \% = \frac{118,98}{410,83} \cdot 100\% = 28,96\%$$

$$k_3 = 0,4$$

За формулою (16):

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 1075,86}{3} \right) - 2 \cdot 0,4^2 \cdot 458,47 = 570,53 \text{ вар}$$

За формулою (18):

$$\Delta P_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 143,78}{3} \right) - 2 \cdot 0,4^2 \cdot 410,83 = -35,65 \text{ Вт}$$

За формулою (20):

$$\Delta P_{EK} = 0,1 \cdot 570,53 - 35,65 = 21,4 \text{ Вт}$$

За формулою (21):

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 29   |

$$\Delta P_{EK} \% = \frac{21,4}{410,83} \cdot 100\% = 5,2\%$$

$$k_3 = 0,5$$

За формулою (16):

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 1075,86}{3} \right) - 2 \cdot 0,5^2 \cdot 458,47 = 488,1 \text{ вар}$$

За формулою (18):

$$\Delta P_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 143,78}{3} \right) - 2 \cdot 0,5^2 \cdot 410,83 = -75,43 \text{ Вт}$$

За формулою (20):

$$\Delta P_{EK} = 0,1 \cdot 488,1 - 75,43 = -26,62 \text{ Вт}$$

$\Delta P_{EK} < 0$  , тобто загальне зменшення втрат потужності в результаті перемикання обмоток статора зі схеми  $\Delta$  на схему  $Y$  відсутнє і нема сенсу застосовувати таке перемикання.

Проаналізуємо ефект енергозбереження шляхом перемикання обмоток статора машини ММД-12А та А3024 конкретного виду великогабаритних вузлів, наприклад, тягових двигунів та допоміжних електричних машин (табл. 3).

**Таблиця 3 – Коефіцієнти завантаження машин ММД-12А та А3024  
для деяких типів тягових двигунів**

|                |                       |                                                       |                                                    |
|----------------|-----------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| НБ-<br>523М    | 492                   | 0,492                                                 | 0,89                                               |
| СТК-<br>520    | 4800                  | 0,48                                                  | 0,87                                               |
| НБ-<br>520В    | 4282                  | 0,482                                                 | 0,78                                               |
| ЭД-<br>118Б    | 3350                  | 0,33                                                  | 0,61                                               |
| ЭД-<br>118А    | 3100                  | 0,31                                                  | 0,56                                               |
| СТК-<br>405    | 2960                  | 0,296                                                 | 0,54                                               |
| СТД-<br>1200   | 2410                  | 0,241                                                 | 0,44                                               |
| 1 ДТ           | 2300                  | 0,23                                                  | 0,42                                               |
| РТ-<br>51Д     | 2000                  | 0,2                                                   | 0,36                                               |
| ЭД-<br>114     | 1950                  | 0,195                                                 | 0,35                                               |
| Тип ел.двигуна | Вага<br>ел.двигуна,кг | Машина ММД-<br>12А,<br>вантажопід'ємн<br>ість 10000кг | Машина<br>А3024,<br>вантажопід'ємн<br>ість 5000 кг |

Примітка. Коефіцієнт завантаження  $k_z$  визначається, як відношення ваги двигуна до вантажопід'ємності транспортного візка машини.

Двигун AIP90L4,  $\Delta P_{\text{ном}} = 2,2 \text{ кВт}$

1 -  $\Delta P_{EK}, \%$

2 -  $\Delta P_{EK}, \text{Вт}$

$\Delta P_{EK}, \%$   $\Delta P_{EK}, \text{Вт}$

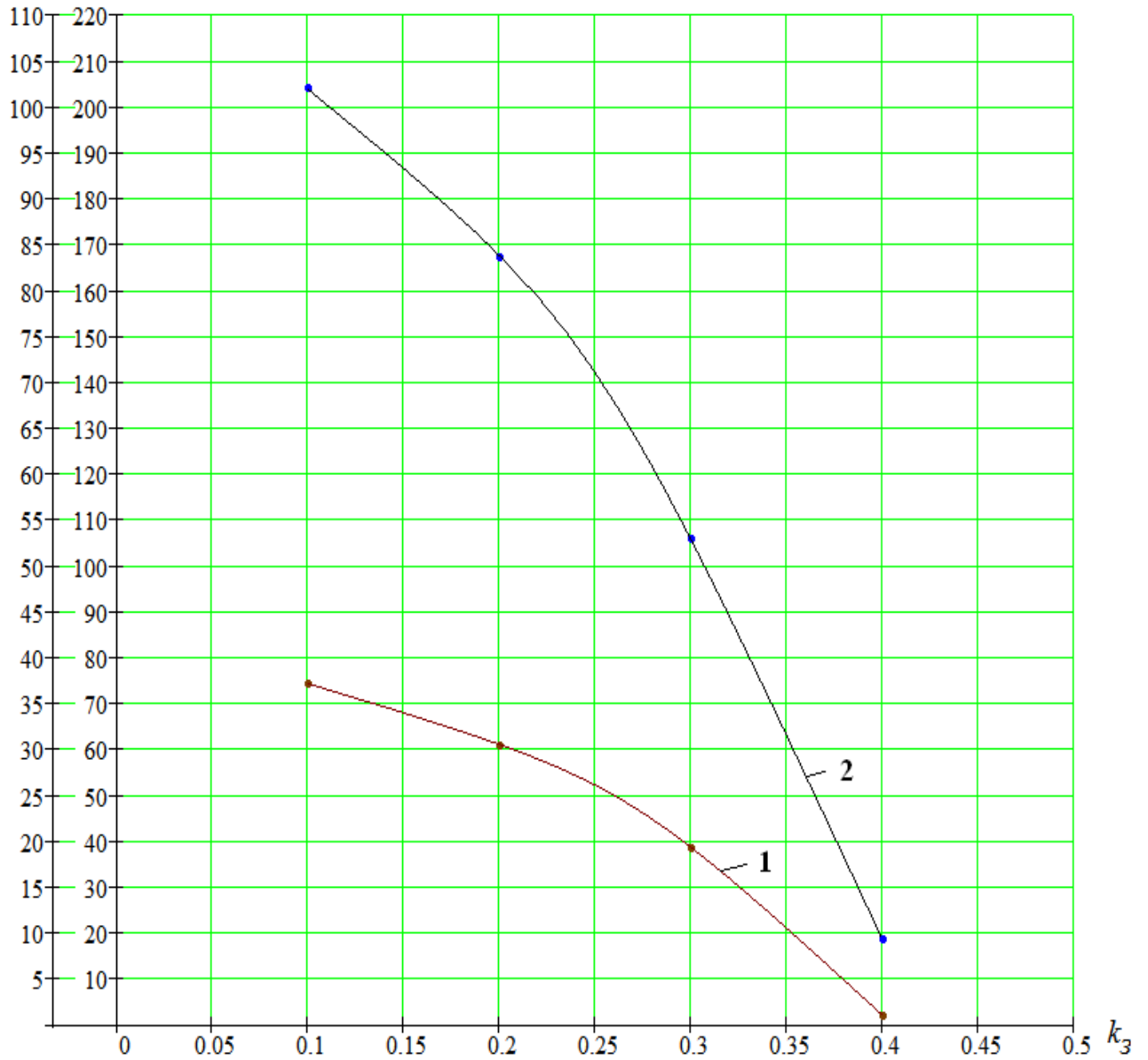


Рис.3 – Залежність  $\Delta P_{EK} = f(k_3)$  для машини ММД-12А

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |

7.141.170085.ПЗ

Лист

32

Двигун АІР 8084,  $\Delta P_{\text{НОМ}} = 1,5 \text{ кВт}$

1 -  $\Delta P_{EK}$ , %

2 -  $\Delta P_{EK}$ , Вт

$\Delta P_{EK}$ , %  $\Delta P_{EK}$ , Вт

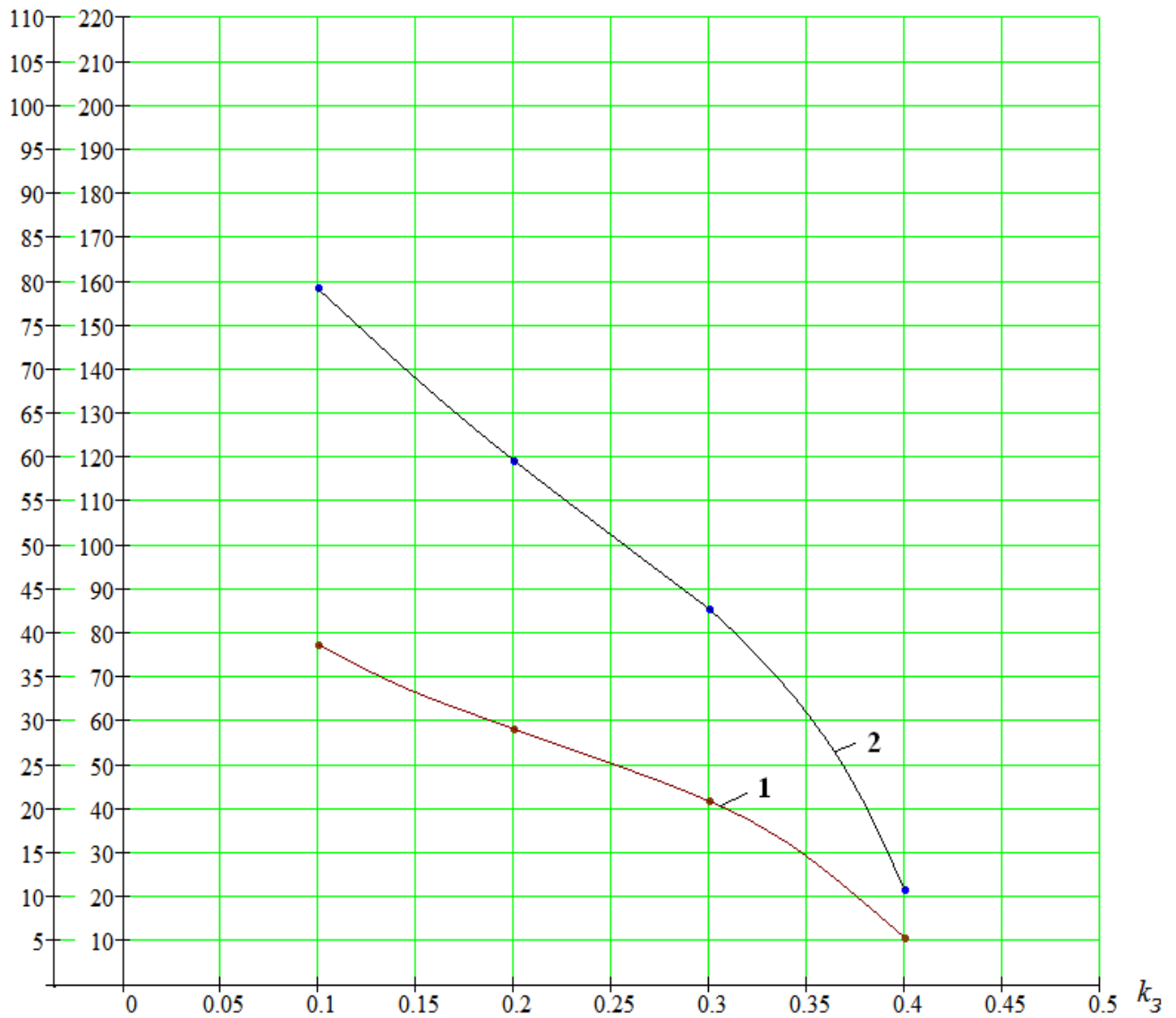


Рис.4 – Залежність  $\Delta P_{EK} = f(k_3)$  для машини А3024

Із графіків на рис.3 видно, що реально енергозбереження при перемиканні обмоток статора зі схеми  $\Delta$  на схему  $Y$  має місце при  $k_3 < 0,4$ . Тобто таке перемикання для машини ММД-12А є сенс здійснювати при мийці двигунів типу: ЭД-114, РТ-51Д, 1 ДТ, СТД-1200, СТК-405, ЭД-118А, ЭД-118Б. Мийка двигунів типів: НБ-52ОВ, СТК-520, НБ-523М здійснюється при схемі з'єднання обмотки статора в  $\Delta$ .

Із графіків на рис.4 видно, що для машини А3024 реально енергозбереження має місце при перемиканні обмоток статора зі схеми  $\Delta$  на схему  $Y$  при мийці тільки для двох двигунів: ЭД-114, РТ-51Д.

Таким чином, з точки зору енергозбереження для мийки тягових двигунів (табл. 3) більш доцільно застосувати машину ММД-12А.

Звернемо увагу, що при незмінному моменті навантаження (незмінному коефіцієнті завантаження) зниження напруги на статорі приводить до підвищення споживання реактивної потужності, яка йде на створення полів розсіювання обмоток статора і ротора. Одночасно з цим пропорційно квадрату напруги знижується максимальний (критичний) момент двигуна, який визначає перевантажувальну здатність асинхронного двигуна.

Таким чином, зниження напруги момента проводити тільки при малих навантаженнях двигуна або його неробочому ході, коли зниження напруги, що приводить до зменшення магнітного потоку двигуна не викличе збільшення струмів у колах двигуна.

Використовуючи результати розрахунків в п. 4.1.2 та в п. 4.2.2 на рис. 3 та рис.4 побудовані залежності  $\Delta P_{ЕК} = f(k_3)$  та  $\Delta P_{ЕК} \% = f(k_3)$  для приводів машин ММД-12А та А3024. Вказані залежності наглядно показують ефективність перемикання схем статора з «трикутника» на «зірку».

## РОЗДІЛ 5

### КІЛЬКІСНА ОЦІНКА АКТИВНИХ ВТРАТ В ПРИВОДАХ МИЙНИХ МАШИН В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КІЛЬКОСТІ ПАР ПОЛЮСІВ ДВИГУНА

Вважаємо, що в приводах розглядаємих мийних машин застосовані загальнопромислові електродвигуни асинхронні трифазні серії АІР, умови експлуатації яких, відповідають умовам експлуатації вказаних машин. Ці двигуни призначені для роботи, від мережі трифазного змінного струму частотою 50 Гц, напругою 220, 380, 600 Вт. ТАД широко застосовують у промисловості завдяки простоті їх конструкції, надійності в експлуатації та порівняно низькій вартості. Вони отримують енергію від загальної мережі змінного струму підприємства.

Асинхронні двигуни серії АІР можуть експлуатуватись у будь – яких природних умовах.

У наш час асинхронні електродвигуни знаходять застосування у всіх галузях господарства країни . Електродвигуни використовують для роботи транспортерів і підйомників, в електроприводах електричного обладнання (редуктори, вентилятори, насоси тощо). Тому головна вимога, яка пред’являється – це висока якість та надійність в експлуатації.

#### 5.1 Мийна машина ММД-12А

Вище розглянуті (п. 4) активні втрати у двигуні привода при кількості пар полюсів  $p=2$  , з метою перевірки достовірності отриманих результатів проведемо дослідження ще для двигунів привода з кількістю пар полюсів  $p=1$ ,  $p=3$ ,  $p=4$ .

##### 5.1.1 Загальнопромисловий електродвигун асинхронний трифазний типу АІР80В2 ( $2p=p$ )

Технічні характеристики:

1. Номінальний струм  $I_{\text{ном}} = 2,8 \text{ А}$
2. Потужність  $P_{\text{ном}} = 2,2 \text{ кВт}$
3. Частота обертання  $n_2 = 2855 \text{ об/хв}$

4. Коефіцієнт корисної дії  $\eta_{\text{ном}} = 81$
5. Коефіцієнт потужності  $\cos\varphi_{\text{ном}} = 0,85$
6. Частота струму живлючої мережі  $f = 50 \text{ Гц}$
7. Номінальне ковзання  $S_{\text{ном}} = 0,05 = 5\%$
8. Схема з'єднання обмоток статора у номінальному режимі - ( $\Delta$ ) – трикутник.
9. Фазна напруга  $U_{\phi} = 380 \text{ В}$
10. Відношення  $\frac{M_m}{M_{\text{ном}}} = 2,3 = \lambda_m$
11. Коефіцієнт завантаження приймаємо  $k_z = 0,3$
12. Кількість пар полюсів – 1

1. За формулою (2):

$$\omega_0 = \frac{2\pi 50}{1} = 157 \text{ рад/с}$$

За формулою (3):

$$\omega_{\text{ном}} = 314,16 \cdot (1 - 0,05) = 298,45 \text{ рад/с}$$

За формулою (4):

$$M_{\text{ном}} = \frac{2200}{298,45} = 7,37 \text{ Нм}$$

2. За формулою (5):

$$I'_{2\text{ном}} = 2,8 \cdot 0,85 = 2,38 \text{ А}$$

3. За формулою (6):

$$I_{\mu} = 2,8 \cdot \left( 0,527 - \frac{0,85}{2,3 + \sqrt{2,3^2 - 1}} \right) = 0,93 \text{ А}$$

$$\sin\varphi_0 = \sqrt{1 - 0,85^2} = 0,527$$

4. За формулою (8):

$$R'_2 = \frac{7,37 \cdot 314,16 \cdot 0,05}{3 \cdot 2,8^2} = 4,9 \text{ Ом}$$

5. За формулою (9):

$$Q_{\text{ном}} = 3 \cdot 380 \cdot 2,8 \cdot 0,527 = 1682,18 \text{ вар}$$

6. За формулою (10):

$$Q_0 = 3 \cdot 380 \cdot 0,93 \cdot 0,98 = 1038,996 \text{ вар}$$

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - 0,2^2} = 0,98$$

7. За формулою (11):

$$x_K = \frac{4,9 \cdot (1682,18 - 1038,996)}{7,37 \cdot 314,14 \cdot 0,05} = 27,22 \text{ Ом}$$

8. За формулою (12):

$$R_1 = \frac{(3 \cdot 380^2 / 2 \cdot 314,16 \cdot 16,95)^2 - 27,22^2}{2 \cdot (3 \cdot 380^2 / 2 \cdot 314,16 \cdot 16,95)} = 1123 \text{ Ом}$$

$$M_K = 2,3 \cdot 7,37 = 16,95 \text{ Нм}$$

9. За формулою (13):

$$\Delta P_{\text{ном}} = 2200 \cdot \frac{1 - 0,81}{0,81} = 516,05 \text{ Вт}$$

10. За формулою (14):

$$\Delta P'_{\text{ном}} = 3 \cdot 2,8^2 \cdot 11,23 + 3 \cdot 2,8^2 \cdot 4,9 = 347,4 \text{ Вт}$$

11. За формулою (15):

$$K = 516,05 - 347,4 = 168,65 \text{ Вт}$$

12. За формулою (16):

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 1038,996}{3} \right) - 2 \cdot 0,3^2 \cdot 643,18 = 146,9 \text{ вар}$$

$$\Delta Q_{\text{ном}} = 1682,18 - 1038,996 = 643,18 \text{ вар}$$

13. За формулою (18):

$$\Delta P_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 180,62}{3} \right) - 2 \cdot 0,3^2 \cdot 516,05 = 27,52 \text{ вар}$$

$$\Delta P_0 = 0,35 \cdot 516,05 = 180,62 \text{ Вт}$$

14. За формулою (20):

$$\Delta P_{EK} = 0,1 \cdot 146,9 + 27,52 = 42,21 \text{ Вт}$$

15. За формулою (21):

$$\Delta P_{EK} \% = \frac{42,21}{516,05} \cdot 100\% = 8,1\%$$

5.1.2 Загальнопромисловий електродвигун трифазний типу AIP100L6 (6p=6)

Технічні характеристики:

1. Номінальний струм  $I_{\text{ном}} = 3,24 \text{ А}$
2. Потужність  $P_{\text{ном}} = 2,2 \text{ кВт}$
3. Частота обертання  $n_2 = 935 \text{ об/хв}$
4. Коефіцієнт корисної дії  $\eta_{\text{ном}} = 0,79$
5. Коефіцієнт потужності  $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,76$
6. Частота струму живлючої мережі  $f = 50 \text{ Гц}$
7. Номінальне ковзання  $S_{\text{ном}} = 0,065 = 6,5\%$
8. Схема з'єднання обмоток статора у номінальному режимі - ( $\Delta$ ) – трикутник.
9. Фазна напруга  $U_{\text{ф}} = 380 \text{ В}$
10. Відношення  $\frac{M_m}{M_{\text{ном}}} = 2,1 = \lambda_m$
11. Коефіцієнт завантаження приймаємо  $k_z = 0,3$
12. Кількість пар полюсів – 3

1. За формулою (2):

$$\omega_0 = \frac{2\pi 50}{3} = 104,66 \text{ рад/с}$$

За формулою (3):

$$\omega_{\text{ном}} = 104,66 \cdot (1 - 0,065) = 97,8 \text{ рад/с}$$

За формулою (4):

$$M_{\text{ном}} = \frac{2200}{97,8} = 22,49 \text{ Нм}$$

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 38   |

2. За формулою (5):

$$I'_{2\text{НОМ}} = 3,24 \cdot 0,76 = 2,46 \text{ A}$$

3. За формулою (6):

$$I_{\mu} = 3,24 \cdot \left(0,65 - \frac{0,76}{2,1 + \sqrt{2,1^2 - 1}}\right) = 1,49 \text{ A}$$

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - 0,76^2} = 0,65$$

4. За формулою (8):

$$R'_2 = \frac{22,49 \cdot 104,66 \cdot 0,065}{3 \cdot 2,46^2} = 8,43 \text{ Ом}$$

5. За формулою (9):

$$Q_{\text{НОМ}} = 3 \cdot 380 \cdot 3,24 \cdot 0,65 = 2400,84 \text{ вар}$$

6. За формулою (10):

$$Q_0 = 3 \cdot 380 \cdot 1,41 \cdot 0,98 = 1664,63 \text{ вар}$$

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - 0,2^2} = 0,98$$

7. За формулою (11):

$$x_K = \frac{8,43 \cdot (2400,84 - 1664,63)}{22,49 \cdot 104,66 \cdot 0,065} = 40,58 \text{ Ом}$$

8. За формулою (12):

$$R_1 = \frac{(3 \cdot 380^2 / 2 \cdot 104,66 \cdot 47,23)^2 - 40,56^2}{2 \cdot (3 \cdot 380^2 / 2 \cdot 104,66 \cdot 42,23)} = 2,8 \text{ Ом}$$

$$M_K = 2,1 \cdot 22,49 = 47,23 \text{ Нм}$$

9. За формулою (13):

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = 2200 \cdot \frac{1 - 0,79}{0,79} = 584,8 \text{ Вт}$$

10. За формулою (14):

$$\Delta P'_{\text{НОМ}} = 3 \cdot 3,24^2 \cdot 2,8 + 3 \cdot 2,46^2 \cdot 8,43 = 241,18 \text{ Вт}$$

11. За формулою (15):

$$K = 584,8 - 241,18 = 343,62 \text{ Вт}$$

12. За формулою (16):

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 1664,63}{3} \right) - 2 \cdot 0,3^2 \cdot 736,21 = 917,63 \text{ вар}$$

$$\Delta Q_{\text{НОМ}} = 2400,84 - 1664,63 = 736,21 \text{ вар}$$

13. За формулою (18):

$$\Delta P_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 204,68}{3} \right) - 2 \cdot 0,3^2 \cdot 584,8 = 31,19 \text{ вар}$$

$$\Delta P_0 = 0,35 \cdot 584,8 = 204,68 \text{ Вт}$$

14. За формулою (20):

$$\Delta P_{EK} = 0,1 \cdot 917,63 + 31,19 = 122,95 \text{ Вт}$$

15. За формулою (21):

$$\Delta P_{EK} \% = \frac{122,95}{584,8} \cdot 100\% = 21,02\%$$

5.1.3 Загальнопромисловий електродвигун асинхронний трифазний типу АІР112МА8 (8р=8)

Технічні характеристики:

1. Номінальний струм  $I_{\text{НОМ}} = 3,46 \text{ А}$

2. Потужність  $P_{\text{НОМ}} = 2,2 \text{ кВт}$

3. Частота обертання  $n_2 = 710 \text{ об/хв}$

4. Коефіцієнт корисної дії  $\eta_{\text{НОМ}} = 79\%$

5. Коефіцієнт потужності  $\cos \varphi_{\text{НОМ}} = 0,71$

6. Частота струму живлючої мережі  $f = 50 \text{ Гц}$

7. Номінальне ковзання  $S_{\text{НОМ}} = 0,05 = 5\%$

8. Схема з'єднання обмоток статора у номінальному режимі - (Δ) – трикутник.

9. Фазна напруга  $U_{\phi} = 380 \text{ В}$

10. Відношення  $\frac{M_m}{M_{\text{НОМ}}} = 2 = \lambda_m$

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 40   |

11. Коефіцієнт завантаження приймаємо  $k_3 = 0,3$

12. Кількість пар полюсів – 4

1. За формулою (2):

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{4} = 78,54 \text{ рад/с}$$

За формулою (3):

$$\omega_{\text{НОМ}} = 78,54 \cdot (1 - 0,05) = 74,61 \text{ рад/с}$$

За формулою (4):

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{2200}{74,61} = 29,49 \text{ Н·м}$$

2. За формулою (5):

$$I'_{2\text{НОМ}} = 3,46 \cdot 0,71 = 2,46 \text{ А}$$

3. За формулою (6):

$$I_{\mu} = 1,998 \cdot \left(0,7 - \frac{0,71}{2 + \sqrt{2^2 - 1}}\right) = 1,765 \text{ А}$$

$$\sin \varphi_{\text{НОМ}} = \sqrt{1 - 0,71^2} = 0,7$$

4. За формулою (8):

$$R'_2 = \frac{29,49 \cdot 78,4 \cdot 0,05}{3 \cdot 2,46^2} = 6,38 \text{ Ом}$$

5. За формулою (9):

$$Q_{\text{НОМ}} = 3 \cdot 380 \cdot 3,46 \cdot 0,7 = 2761,08 \text{ вар}$$

6. За формулою (10):

$$Q_0 = 3 \cdot 380 \cdot 1,765 \cdot 0,98 = 1971,86 \text{ вар}$$

$$\sin \varphi_0 = 0,98$$

7. За формулою (11):

$$x_K = \frac{6,38 \cdot (2761,08 - 1971,86)}{29,49 \cdot 78,54 \cdot 0,05} = 43,48 \text{ Ом}$$

8. За формулою (12):

$$R_1 = \frac{(3 \cdot 380^2 / 2 \cdot 78,54 \cdot 58,98)^2 - 43,48^2}{2 \cdot (3 \cdot 380^2 / 2 \cdot 78,54 \cdot 58,98)} = 3,16 \text{ Ом}$$

$$M_K = 2 \cdot 29,49 = 58,98 \text{ Н·м}$$

9. За формулою (13):

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = 2200 \cdot \frac{1 - 0,79}{0,79} = 584,81 \text{ Вт}$$

10. За формулою (14):

$$P'_{\text{НОМ}} = 3 \cdot 3,46^2 \cdot 3,16 + 3 \cdot 2,46^2 \cdot 6,38 = 229,32 \text{ Вт}$$

11. За формулою (15):

$$K = 584,81 - 229,32 = 355,49$$

12. За формулою (16):

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = \frac{2 \cdot 1971,86}{3} - 2 \cdot 0,3^2 \cdot 789,22 = 1172,3 \text{ вар}$$

$$Q_{\text{НОМ}} = 2761,08 - 1971,86 = 789,22 \text{ вар}$$

13. За формулою (18):

$$\Delta P_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 204,68}{3} \right) - 2 \cdot 0,3^2 \cdot 584,81 = 31,18 \text{ Вт}$$

$$P_0 = 0,35 \cdot 584,81 = 204,68 \text{ Вт}$$

14. За формулою (20):

$$\Delta P_{EK} = 0,1 \cdot 1172,51 + 31,18 = 148,43 \text{ Вт}$$

15. За формулою (21):

$$\Delta P_{EK} \% = \frac{148,43}{584,81} \cdot 100\% = 25,38\%$$

## 5.2 Мийна машина А3024

5.2.1 Загальнопромисловий електродвигун асинхронний трифазний типу АІР80А (2р=р)

Технічні характеристики:

1. Номінальний струм  $I_{\text{НОМ}} = 1,998 \text{ А}$

2. Потужність  $P_{\text{НОМ}} = 1,5 \text{ кВт}$

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 42   |

3. Частота обертання  $n_2 = 2850$  об/хв
4. Коефіцієнт корисної дії  $\eta_{\text{ном}} = 78,5\%$
5. Коефіцієнт потужності  $\cos\varphi_{\text{ном}} = 0,84$
6. Частота струму живлючої мережі  $f = 50$  Гц
7. Номінальне ковзання  $S_{\text{ном}} = 0,05 = 5\%$
8. Схема з'єднання обмоток статора у номінальному режимі - ( $\Delta$ ) – трикутник.
9. Фазна напруга  $U_{\text{ф}} = 380$  В
10. Відношення  $\frac{M_m}{M_{\text{ном}}} = 2,3 = \lambda_m$
11. Коефіцієнт завантаження приймаємо  $k_z = 0,3$
12. Кількість пар полюсів – 1

1. За формулою (2):

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{1} = 314,16 \text{ рад/с}$$

2. За формулою (3):

$$\omega_{\text{ном}} = 314,16 \cdot (1 - 0,05) = 298,45 \text{ рад/с}$$

3. За формулою (4):

$$M_{\text{ном}} = \frac{1500}{298,45} = 5,03 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

4. За формулою (5):

$$I'_{2\text{ном}} = 1,998 \cdot 0,84 = 1,68 \text{ А}$$

5. За формулою (6):

$$I_{\mu} = 1,998 \cdot \left( 0,543 - \frac{0,84}{2,3 + \sqrt{2,3^2 - 1}} \right) = 0,94 \text{ А}$$

$$\sin\varphi_{\text{ном}} = \sqrt{1 - 0,84^2} = 0,543$$

6. За формулою (8):

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 43   |

$$R_2' = \frac{5,03 \cdot 314,16 \cdot 0,05}{3 \cdot 1,68^2} = 9,33 \text{ Ом}$$

7. За формулою (9):

$$Q_{\text{НОМ}} = 3 \cdot 380 \cdot 1,998 \cdot 0,543 = 1236,8 \text{ вар}$$

8. За формулою (10):

$$Q_0 = 3 \cdot 380 \cdot 0,94 \cdot 0,98 = 1050,17 \text{ вар}$$

$$\sin \varphi_0 = 0,98$$

9. За формулою (11):

$$x_K = \frac{9,33 \cdot (1236,8 - 1050,17)}{5,03 \cdot 314,16 \cdot 0,05} = 22,04 \text{ Ом}$$

10. За формулою (12):

$$R_1 = \frac{(3 \cdot 380^2 / 2 \cdot 314,16 \cdot 11,57)^2 - 22,04}{2 \cdot (3 \cdot 380^2 / 2 \cdot 314,16 \cdot 11,57)} = 25,72 \text{ Ом}$$

$$M_K = 2,3 \cdot 5,03 = 11,57 \text{ Н·м}$$

11. За формулою (13):

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = 1500 \cdot \frac{1 - 0,785}{0,785} = 410,83 \text{ Вт}$$

12. За формулою (14):

$$P'_{\text{НОМ}} = 3 \cdot 1,998^2 \cdot 25,72 + 3 \cdot 1,68^2 \cdot 9,33 = 387,02 \text{ Вт}$$

13. За формулою (15):

$$K = 410,83 - 387,02 = 23,81$$

14. За формулою (16):

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = \frac{2 \cdot 1050,17}{3} - 2 \cdot 0,3^2 \cdot 186,63 = 666,52 \text{ вар}$$

$$Q_{\text{НОМ}} = 1236,8 - 1050,17 = 186,63 \text{ вар}$$

15. За формулою (18):

$$\Delta P_{\Delta-Y} = \frac{2 \cdot 143,79}{3} - 2 \cdot 0,3^2 \cdot 410,83 = 21,91 \text{ Вт}$$

$$P_0 = 0,35 \cdot 410,83 = 143,79 \text{ Вт}$$

16. За формулою (20):

$$\Delta P_{ЕК} = 0,1 \cdot 666,52 + 21,91 = 88,56 \text{ Вт}$$

17. За формулою (21):

$$\Delta P_{ЕК} \% = \frac{88,56}{410,83} \cdot 100\% = 22\%$$

5.2.2 Загальнопромисловий електродвигун асинхронний трифазний типу АІР90L6 (6р=р)

Технічні характеристики:

1. Номінальний струм  $I_{\text{ном}} = 2,31 \text{ А}$
2. Потужність  $P_{\text{ном}} = 1,5 \text{ кВт}$
3. Частота обертання  $n_2 = 920 \text{ об/хв}$
4. Коефіцієнт корисної дії  $\eta_{\text{ном}} = 76\%$
5. Коефіцієнт потужності  $\cos\varphi_{\text{ном}} = 0,75$
6. Частота струму живлючої мережі  $f = 50 \text{ Гц}$
7. Номінальне ковзання  $S_{\text{ном}} = 0,08 = 8\%$
8. Схема з'єднання обмоток статора у номінальному режимі - ( $\Delta$ ) – трикутник.
9. Фазна напруга  $U_{\text{ф}} = 380 \text{ В}$
10. Відношення  $\frac{M_m}{M_{\text{ном}}} = 2,1 = \lambda_m$
11. Коефіцієнт завантаження приймаємо  $k_3 = 0,3$
12. Кількість пар полюсів – 3

1. За формулою (2):

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{3} = 104,72 \text{ рад/с}$$

За формулою (3):

$$\omega_{\text{ном}} = 104,72 \cdot (1 - 0,08) = 96,34 \text{ рад/с}$$

За формулою (4):

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 45   |

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{1500}{96,34} = 15,57 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

2. За формулою (5):

$$I'_{2\text{НОМ}} = 2,31 \cdot 0,75 = 1,73 \text{ А}$$

3. За формулою (6):

$$I_{\mu} = 2,31 \cdot \left(0,661 - \frac{0,75}{2,1 + \sqrt{2,1^2 - 1}}\right) = 1,09 \text{ А}$$

$$\sin \varphi_{\text{НОМ}} = \sqrt{1 - 0,75^2} = 0,661$$

4. За формулою (8):

$$R'_2 = \frac{15,57 \cdot 104,72 \cdot 0,08}{3 \cdot 1,73^2} = 14,53 \text{ Ом}$$

5. За формулою (9):

$$Q_{\text{НОМ}} = 3 \cdot 380 \cdot 2,31 \cdot 0,661 = 1740,68 \text{ вар}$$

6. За формулою (10):

$$Q_0 = 3 \cdot 380 \cdot 1,09 \cdot 0,98 = 1217,75 \text{ вар}$$

$$\sin \varphi_0 = 0,98$$

7. За формулою (11):

$$x_K = \frac{14,53 \cdot (1740,68 - 1217,75)}{15,57 \cdot 104,72 \cdot 0,08} = 58,25 \text{ Ом}$$

8. За формулою (12):

$$R_1 = \frac{(3 \cdot 380^2 / 2 \cdot 104,72 \cdot 32,697)^2 - 58,25^2}{2 \cdot (3 \cdot 380^2 / 2 \cdot 104,72 \cdot 32,697)} = 4,81 \text{ Ом}$$

$$M_K = 2,1 \cdot 15,57 = 32,697 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

9. За формулою (13):

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = 1500 \cdot \frac{1 - 0,76}{0,76} = 473,68 \text{ Вт}$$

10. За формулою (14):

$$P'_{\text{НОМ}} = 3 \cdot 2,31^2 \cdot 4,81 + 3 \cdot 1,73^2 \cdot 14,53 = 207,45 \text{ Вт}$$

11. За формулою (15):

$$K = 473,68 - 207,45 = 266,23$$

12. За формулою (16):

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = \frac{2 \cdot 1217,75}{3} - 2 \cdot 0,3^2 \cdot 522,93 = 717,7 \text{ вар}$$

$$Q_{\text{ном}} = 1740,68 - 1217,75 = 522,93 \text{ вар}$$

13. За формулою (18):

$$\Delta P_{\Delta-Y} = \frac{2 \cdot 165,79}{3} - 2 \cdot 0,3^2 \cdot 473,68 = 25,26 \text{ Вт}$$

$$P_0 = 0,35 \cdot 473,68 = 165,79 \text{ Вт}$$

14. За формулою (20):

$$\Delta P_{EK} = 0,1 \cdot 717,71 + 25,26 = 97,03 \text{ Вт}$$

15. За формулою (21):

$$\Delta P_{EK} \% = \frac{97,03}{473,68} \cdot 100\% = 20,48\%$$

5.2.3 Загальнопромисловий електродвигун асинхронний трифазний типу АІР100L8 (8р=8)

Технічні характеристики:

1. Номінальний струм  $I_{\text{ном}} = 2,54 \text{ А}$

2. Потужність  $P_{\text{ном}} = 1,5 \text{ кВт}$

3. Частота обертання  $n_2 = 690 \text{ об/хв}$

4. Коефіцієнт корисної дії  $\eta_{\text{ном}} = 74\%$

5. Коефіцієнт потужності  $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,7$

6. Частота струму живлючої мережі  $f = 50 \text{ Гц}$

7. Номінальне ковзання  $S_{\text{ном}} = 0,08 = 8\%$

8. Схема з'єднання обмоток статора у номінальному режимі - ( $\Delta$ ) – трикутник.

9. Фазна напруга  $U_{\phi} = 380 \text{ В}$

10. Відношення  $\frac{M_m}{M_{\text{ном}}} = 2 = \lambda_m$

11. Коефіцієнт завантаження приймаємо  $k_3 = 0,3$

12. Кількість пар полюсів – 4

1. За формулою (2):

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{4} = 78,54 \text{ рад/с}$$

За формулою (3):

$$\omega_{\text{ном}} = 78,54 \cdot (1 - 0,08) = 72,26 \text{ рад/с}$$

За формулою (4):

$$M_{\text{ном}} = \frac{1500}{72,26} = 20,76 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

2. За формулою (5):

$$I'_{2\text{ном}} = 2,54 \cdot 0,7 = 1,778 \text{ А}$$

3. За формулою (6):

$$I_\mu = 2,54 \cdot \left( 0,714 - \frac{0,7}{2 + \sqrt{2^2 - 1}} \right) = 1,34 \text{ А}$$

$$\sin \varphi_{\text{ном}} = \sqrt{1 - 0,7^2} = 0,714$$

4. За формулою (8):

$$R'_2 = \frac{20,76 \cdot 78,54 \cdot 0,08}{3 \cdot 1,778^2} = 14,21 \text{ Ом}$$

5. За формулою (9):

$$Q_{\text{ном}} = 3 \cdot 380 \cdot 2,54 \cdot 0,714 = 2067,46 \text{ вар}$$

6. За формулою (10):

$$Q_0 = 3 \cdot 380 \cdot 1,34 \cdot 0,98 = 1497,05 \text{ вар}$$

$$\sin \varphi_0 = 0,98$$

7. За формулою (11):

$$x_K = \frac{14,21 \cdot (2067,46 - 1497,05)}{20,76 \cdot 78,54 \cdot 0,08} = 62,14 \text{ Ом}$$

8. За формулою (12):

$$R_1 = \frac{(3 \cdot 380^2 / 2 \cdot 78,54 \cdot 41,52)^2 - 62,14^2}{2 \cdot (3 \cdot 380^2 / 2 \cdot 78,54 \cdot 41,52)} = 4,14 \text{ Ом}$$

$$M_k = 2 \cdot 20,76 = 41,52 \text{ Н·м}$$

9. За формулою (13):

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = 1500 \cdot \frac{1 - 0,74}{0,74} = 527,03 \text{ Вт}$$

10. За формулою (14):

$$P'_{\text{НОМ}} = 3 \cdot 2,54^2 \cdot 4,14 + 3 \cdot 1,778^2 \cdot 14,21 = 214,9 \text{ Вт}$$

11. За формулою (15):

$$K = 527,03 - 214,9 = 312,13$$

12. За формулою (16):

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = \frac{2 \cdot 1497,05}{3} - 2 \cdot 0,3^2 \cdot 570,41 = 895,36 \text{ вар}$$

$$Q_{\text{НОМ}} = 2067,46 - 1497,05 = 570,41 \text{ вар}$$

13. За формулою (18):

$$\Delta P_{\Delta-Y} = \left( \frac{2 \cdot 184,46}{3} \right) - 2 \cdot 0,3^2 \cdot 527,03 = 28,11 \text{ Вт}$$

$$P_0 = 0,35 \cdot 527,03 = 184,46 \text{ Вт}$$

14. За формулою (20):

$$\Delta P_{EK} = 0,1 \cdot 895,36 + 28,11 = 117,65 \text{ Вт}$$

15. За формулою (21):

$$\Delta P_{EK} \% = \frac{117,65}{527,03} \cdot 100\% = 22,32\%$$

**Таблиця 4 – Залежність втрат активної потужності від кількості пар полюсів двигуна**

|                                                   |                            |       |        |        |        |
|---------------------------------------------------|----------------------------|-------|--------|--------|--------|
| ММД-12А<br>( $P_{\text{ном}} = 2,2 \text{ кВт}$ ) | $\Delta P_{EK}, \text{Вт}$ | 42,21 | 105,79 | 122,95 | 148,43 |
|                                                   | $\Delta P_{EK}, \%$        | 2,1   | 19,23  | 21,02  | 25,38  |
| А3024<br>( $P_{\text{ном}} = 1,5 \text{ кВт}$ )   | $\Delta P_{EK}, \text{Вт}$ | 88,56 | 85,38  | 97,03  | 117,65 |
|                                                   | $\Delta P_{EK}, \%$        | 22    | 20,78  | 20,48  | 22,32  |
| Кількістю пар полюсів                             |                            | p=1   | p=2    | p=3    | p=4    |

З табл.4 видно, що найбільше зменшення втрат активної потужності відбувається при кількості пар полюсів p=4.

Таким чином, проведені дослідження показують, що з точки зору енергозбереження під час вибору асинхронного двигуна для приводу нестандартного обладнання для ремонту рухомого складу залізниць є сенс визначити втрати активної потужності у всіх типів даної системи. У нас це потужності 2,2 кВт та 1,5 кВт. І при всіх однакових інших умовах обирати тип двигуна, в якому зменшення активної потужності найбільше, тобто двигун з найменшою синхронною частотою обертання згідно каталогу загальнопромислових асинхронних двигунів

Цей висновок відноситься і до електроприводів інших галузей господарства країни. Із збільшенням потужності асинхронного двигуна ефект енергозбереження збільшується, тобто збільшується зменшення втрат активної потужності зі зменшенням синхронної частоти обертання.

## РОЗДІЛ 6

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Закон України «Про охорону праці» встановлює основні положення щодо реалізації конституційних прав працівників на охорону свого життя і здоров'я під час роботи, на належні, безпечні і здорові умови праці, на забезпечення безпеки між відповідними органами державної влади, роботодавець-працівник і найманий працівник, питання гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок діяльності організацій з охорони праці в Україні. Охорона праці передбачає низку формальних і практичних дій, спрямованих на те, щоб забезпечити відсутність або мінімізацію нещасних випадків під час технічного обслуговування, та забезпечити відсутність штрафів з боку органів, що контролюють, а також мінімізувати незадоволення працівників щодо умов їх праці з мінімальними затратами.

#### **6.1 Вимоги безпеки під час обслуговування нестандартного обладнання на підприємствах залізниць з ремонту рухомого складу**

У даній роботі проведено дослідження з енергозбереження в електроприводі миючих машин ММД - 12А та А3024 при використанні їх для мийки тягових двигунів на залізницях.

Під час експлуатації та обслуговування миючих машин на залізницях шкідливими та небезпечними факторами на основі ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» є:

Фізичні:

- знижена або підвищена температура повітря робочої зони;
- високі швидкості руху повітря та вологість;
- підвищені вібрації, рівні шуму, ультразвуку й різних випромінювань
- вібрації теплових, іонізуючих, інфрачервоних, електромагнітних й ін.
- також загазованість і запиленість повітря робочої зони;
- підвищена яскравість світла й пульсація світлового потоку.
- недостатня освітленість робочих місць, проходів і проїздів.

З метою створення сприятливих умов праці всі приміщення з

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 51   |

обслуговування миючих машин забезпечені системами опалювання, вентиляції й освітлення. Для безпечного обслуговування передбачені наступні заходи:

- ізоляція тепловиділяючого устаткування і трубопроводів з розрахунку рівня тепловипромінювання не вище 40 °С;
- витяжна для приточування вентиляція, що забезпечує триразовий повітрообмін в годину;
- забезпечення нормативних проходів в зонах обслуговування устаткування заземлення і занулення всіх елементів устаткування, що нормально не знаходяться під напругою.

Таблиця 5 – Аналіз умов праці відповідно до ДСН 3.3.6.042-99

| № за/п | Шкідливі та небезпечні виробничі фактори | Джерела утворення факторів | ГДК (ГДР) | Факт. знач. |
|--------|------------------------------------------|----------------------------|-----------|-------------|
| 1      | Показники термометра (сухого)            | Мікроклімат                | 16-19 °С  | 20,0. °С    |
| 2      | Відносна вологість повітря робочої зони  | Мікроклімат                | 80-30 %   | 54 %        |
| 3      | Швидкість аспірації                      | Мікроклімат                |           | 1 л/хв.     |
| 4      | Штучне освітлення                        | Лампи газорозрядні         | 300 лкс   | 530 лкс     |

Світло має проходити через бічні отвори, як правило, спрямовані на північ або північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КРО) щонайменше 1,5%. Розрахунки КПО виконуються згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Природне та штучне освітлення». Вимоги до рівня шуму, вібрації та мікроклімату робочих місць у виробничих приміщеннях.

Рівні шуму на робочому місці для осіб, які працюють 8 годин на добу, не повинні перевищувати 85 дБА і визначаються ДСН 3.3.6-037-99. Для забезпечення нормального рівня шуму у виробничих приміщеннях і на

робочих місцях застосовуються шумопоглинаючі пристрої, вибір яких обґрунтовано спеціальними інженерно-акустичними розрахунками.

Рівень вібрації регламентується ДСН 3.3.6-039-99 - «Національні гігієнічні нормативи загальної та локальної вібрації в промисловості», затвердженими МОЗ України. Мікроклімат регулюється згідно ДСН 3.3.6-042-99°C – 16...25; відносна вологість, % – 40...60; швидкість руху повітря – 0,1...0,4.

Для підтримки допустимих значень мікроклімату необхідно передбачити засоби або обладнання для зволоження або штучної іонізації, кондиціонування повітря.

Вміст озону в повітрі робочої зони не повинен перевищувати 0,1 мг/м<sup>3</sup>, вміст оксиду азоту - 5 мг/м<sup>3</sup>, вміст пилу - 4 мг/м<sup>3</sup>. Наказом № 99 Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 05.02.2014 р. та Національними санітарними нормами і правилами затверджено вимоги до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу електромагнітних полів та зниження вимог безпеки працівників, які піддаються впливу електромагнітного випромінювання [23] та положення про захист населення від електромагнітних випромінювань (ДСанПіН 3.3.6.096-2002) [24]. Відповідно до національних санітарних правил експлуатації джерела електромагнітного випромінювання [25] роботодавець повинен організувати вимірювання значень напруги і струму електромагнітних компонентів електромагнітного кола для забезпечення раціонального планування виробничо-технічних ділянок, забезпечувати робітників засобами індивідуального захисту, спеціальним одягом та необхідним оснащенням, яке потрібно для виконуваних робіт.

Вимога щодо створення безпечних і нешкідливих умов праці шляхом належного облаштування робочих місць, виробничих, санітарно-побутових та інших приміщень має відповідати загальним вимогам стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників. Перед початком роботи роботодавець повинен:

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 53   |

- відповідно до ДСанПіНу 3.3.6.096-2002 організувати вимірювання напруженості електричної та магнітної складових електромагнітних полів;
- за результатами санітарної експертизи забезпечити відповідність плану виробничого майданчика та розміщення обладнання вимогам ДСанПіНу 3.3.6.096-2002;
- забезпечити працівників засобами індивідуального захисту від електромагнітних полів та забезпечити їх спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту.

Перед початком роботи та під час роботи роботодавці повинні звернути особливу увагу на:

- рівень, спектр, тривалість і характер впливу ЕМП;
- гранично допустимий рівень (ГДР) показника електромагнітного поля;
- можливість електромагнітних полів впливати на безпеку та здоров'я працівників;
- можливість будь-яких непрямих впливів, особливо можливість перешкоджання роботі медичного електронного обладнання та електронних пристроїв, включаючи кардіостимулятори та інші імплантовані пристрої; небезпека від часток, що падають з предметів; ініціалізація електричних вибухових пристроїв (детонаторів); можливі іскри від індукційні струми, що викликають займання та вибух легкозаймистих матеріалів;
- простота заміни обладнання для зниження рівня ЕМП;
- інформація про стан здоров'я працівника, отримані під час медичних оглядів;
- існування декількох джерел електромагнітних полів, що працюють одночасно;
- одночасний вплив електромагнітних полів різної частоти.

Працівники не повинні проводити в робочій зоні більше часу, ніж значення, наведені в ДСанПіН 3.3.6.096-2002.

У випадках, коли рівні електромагнітних полів перевищують ГДР, роботодавці повинні вжити заходів, спрямованих на зниження рівня ЕМП, а

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 54   |

якщо це неможливо, то скорочення часу перебування працівників під його впливом, а також змінити методи захисту від шкідливих впливів і застосувати відповідні пристрої попередження.

Роботодавці повинні інформувати працівників та проводити для них та їх уповноважених представників відповідне навчання з питань охорони праці.

При виявленні перевищення ГДР електромагнітних полів, працівники, які зазнали впливу, повинні пройти терміновий медичний. Якщо за результатами цього обстеження виявлено, що здоров'ю працівника було завдано шкоди, мають бути переглянуті ГДР електромагнітного поля у відповідній робочій зоні або тривалість перебування працівника у цій зоні.

Заходи щодо покращення умов праці, їх обґрунтування.

## 1. Технічні

1.1 Щоб досягти стандартизації параметрів мікроклімату та чистоти повітря, спочатку необхідно прийняти технічні та будівельні заходи: застосувати передові технології, теплоізоляцію та екранування конвективних та променистих джерел тепла, а також використовувати воду та піну для притиснення пилу, його формування, герметизація обладнання та оснащення. Впровадження дистанційного та автоматичного керування виробничим обладнанням.

1.2 Для видалення шкідливих речовин на майданчику слід застосувати ефективну місцеву механічну вентиляцію та очищення вихлопних газів.

1.3 Повітроводи припливних систем, що проходять через системи живлення поблизу теплотехнічного обладнання та інших джерел тепловиділення, повинні мати теплоізоляцію для забезпечення нормальної температури повітря в робочих зонах службових приміщень.

## 2. Організаційні

2.1 Усі працівники повинні пройти інструктаж та навчання з техніки безпеки та правил виконання робіт згідно з вимогами НПАОП 0.00-4.12-05. «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 55   |

2.2 Пульт керування необхідно тримати якомога далі від джерела тепла, враховуючи добру видимість об'єкта контролю. Пульти управління, як постійне робоче місце, повинні розташовуватися в окремій кімнаті або кабіні, обладнаній кондиціонером, а в окремих випадках звукоізованим і захищеним спеціальним загартованим силікатним або органічним склом.

2.3 Реконструкція та переобладнання душових, гардеробних. Облаштування кімнат відпочинку при підприємстві з обслуговування миючих машин.

2.4 Встановити нові та модернізувати існуючі системи вентиляції, опалення та кондиціонування.

2.5 План приміщення підприємства з ремонту пральних машин.

2.6 Кожне приміщення повинно бути забезпечено аптечкою з набором необхідних медикаментів. Усі робітники та інженерно-технічний персонал повинні бути навчені прийомам надання першої допомоги.

### 3. Медико-профілактичні

3.1. Працівники повинні проходити регулярні медичні огляди, а працівники, які влаштувалися на те саме підприємство або переведені на іншу роботу, повинні проходити попередній медичний огляд згідно з чинним наказом МОЗ України від 21 травня 2007 р. N 246.

3.2 Обсяг санітарно-захисної зони визначається відповідно до класифікації виробництв «СанПіН 2.2.1 / 2.1.1.1200-03 Санітарно-захисні зони і санітарна класифікація підприємств, споруд та інших об'єктів» планування і забудови населених пунктів з урахуванням фактичних санітарних умов (фоновий забруднення, погодних умов і особливостей рельєфу)

### 6.2 Дії працівників при аварійних ситуаціях на підприємстві

Згідно з «Правилами пожежної безпеки» [28-29] підприємці повинні гарантувати пожежну безпеку, що є невід'ємною частиною виробничої діяльності робітників, підприємців і службовців підприємств. Директор повинен розподілити обов'язки персоналу, щодо підтримання пожежної безпеки та несе відповідальність за пожежну безпеку окремих приміщень,

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 56   |

територій, місць, технічних та інженерних споруд, утримання та функціонування технічних засобів протипожежного захисту. Призначається відповідальна особа, яка отримує обов'язки з забезпечення безпеки, підтримання та експлуатації засобів пожежогасіння, що відображені у відповідних робочих документах (функціональних обов'язках, інструкціях, положеннях тощо). Кожне підприємство повинно враховувати пожежну небезпеку і встановлювати відповідні системи протипожежного захисту.

Директор установи повинен забезпечити достатню кількість електротехнічних працівників, підтримання і обслуговування електроустановок затвердити Положення про енергетичну службу підприємства, а також посадові інструкції і інструкції з охорони праці, робити перевірку знань працівників у встановлені строки згідно з вимогами правил, які визначені в НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» [26].

Роботи в електроустановках стосовно заходів безпеки поділяються на три категорії:

- зі зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмовідних частинах та поблизу них;
- без зняття напруги віддалік від струмовідних частин, що перебувають під напругою.

Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [27].

До робіт, які виконуються зі зняттям напруги, належать роботи, що проводяться в електроустановці (або її частині), в якій зі струмовідних частин знято напругу і доступ в електроустановки (або їх частини), що перебувають під напругою, унеможливлено.

До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмовідних частинах та поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах.

В електроустановках напругою понад 1000 В, а також з напругою до 1000 В до цих самих робіт належать роботи, які виконуються на відстанях від струмовідних частин.

Роботою без зняття напруги віддалік від струмовідних частин, що перебувають під напругою, вважається робота, під час якої є неможливим випадкове наближення працівників і ремонтного оснащення та інструменту, що застосовуються ними, до струмовідних частин на відстань, проведення технічних або організаційних заходів для запобігання такому наближенню не потрібно.

Згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою, приміщення з обслуговування нестандартного обладнання відносяться до категорії Д (знижено-пожежонебезпечна). Так, як в даних роботах не використовуються вогненебезпечні матеріали. Слід взяти до уваги, що небезпека, викликана порушенням технічних правил безпеки, при технічному обслуговуванні електроприводів мийних машин збільшується, обумовлено це тим, що вологість повітря навколо машини підвищена.

Дії персоналу у разі електротравматизму прописані в порядку [30]:

- переконатися у відсутності небезпеки;
- якщо постраждалий перебуває під дією електричного струму, при можливості припинити його дію: вимкнути джерело струму, відкинути електричний провід за допомогою сухої дерев'яної палиці чи іншого електронепровідного засобу;
- провести огляд постраждалого, визначити наявність свідомості, дихання;
- викликати бригаду екстреної (швидкої) медичної допомоги;
- якщо у постраждалого відсутнє дихання, розпочати проведення серцево-легеневої реанімації;
- якщо постраждалий без свідомості, але дихання збережене, надати постраждалому стабільного положення;

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 58   |

- накласти на місця опіку чисті, стерильні пов'язки;
- забезпечити постійний нагляд за постраждалим до приїзду бригади екстреної (швидкої) медичної допомоги;
- при погіршенні стану постраждалого до приїзду бригади екстреної (швидкої) медичної допомоги повторно зателефонувати диспетчеру екстреної медичної допомоги.

У разі виникнення пожежі (ознак горіння) кожен працівник зобов'язаний:

- негайно повідомити за телефоном пожежну охорону, зазначивши адресу об'єкта та вказавши кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, обставини при яких виникла пожежа, наявність осіб та назвавши своє прізвище;
- вживати (по можливості) заходів щодо евакуації людей, гасіння (локалізації) пожеж та захисту матеріальних цінностей;
- повідомити про пожежу керівника або відповідну уповноважену особу та/або чергового по об'єкту;
- за потреби викликати інші екстрені служби (медичну, газорятувальну тощо).

Керівник підприємства, який прибув на місце пожежі, зобов'язаний:

- обов'язково перевірити, чи була викликана пожежна команда (повторне повідомлення), довести до відома власника підприємства про інцидент;
- негайно організовувати рятування (евакуацію) при загрозі життю людей, використовуючи наявні сили і засоби;
- евакуювати з небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у гасінні пожежі;
- припинити роботи у будівлі, крім робіт з проведення протипожежних заходів;
- при необхідності провести відключення електроенергії (за винятком систем пожежогасіння), зупинити транспортування обладнання, агрегатів і обладнання, перекрити надходження сировини, газів, пари і води, призупинити систему вентиляції аварійного приміщення та

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 59   |

прилеглих до нього приміщень та вживати інших заходів, що сприяють запобіганню розгорання вогню та задимлення всередині будівель;

- перевірити включення оповіщення людей про пожежу, установок пожежогасіння та протидимового захисту; організувати зустріч підрозділів пожежної охорони, надати їм допомогу у виборі найкоротшого шляху для під'їзду до осередку пожежі і джерел води;
- забезпечити дотримання працівниками правил охорони праці, які беруть участь у гасінні пожежі. Коли пожежна бригада прибуває на місце пожежі, на додаток до спеціальних процедур доступу, передбачених відповідними національними правилами, повинен забезпечити, безперешкодний вхід на територію об'єкта.

Правилами пожежної безпеки також передбачені вимоги до розробки відповідних інструкцій та положення про спеціальне навчання працівників на випадок пожежі.

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                 | 60   |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 |      |

## ВИСНОВКИ І ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Аналіз показати що на підприємствах залізницю зокрема на підприємства по ремонту рухомого складу двигуни нерегульованих електроприводів значний час працюють у недовантажному режимі що негативно впливає на їх енергетичні показники. Коефіцієнт завантаження вказаних двигунів суттєвий час менше 0,5.
2. При умовах недовантаження (особливо якщо коефіцієнт завантаження дорівнює 0,3 і менше) для покращення енергетичних показників двигуна електроприводу доцільно застосувати надійний і відносно простий метод перемикавання обмоток статора зі схеми «трикутник» на схему «зірка».
3. Запропоновано алгоритм розрахунків зменшення втрат активної потужності шляхом перемикавання обмоток статора зі схеми «трикутник» на схему «зірка».
4. Дослідження показали, що при перемиканні обмотки статора зі схеми «трикутник» на схему «зірка» зменшення втрат активної потужності для різних типів обладнання складає приблизно від 5 % до 39 % в порівнянні із втратами у номінальному режимі.
5. Перемикавання обмоток статора асинхронного двигуна з «трикутника» на «зірку» в основному можна рекомендувати для двигунів завантажених систематично менш, як на 30 %.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергетична стратегія України на період до 2023 р. Затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071.
2. Закон про засади функціонування ринку електричної енергії України №663 – VII від 24.10.2013.
3. Закон про електроенергетику № 575/97 - ВР у редакції від 01.01.2014.
4. Закладний О. М., Проховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навч. посібник. Київ: Кондор, 2005. – 408с.
5. Заощадження в системах електропривода. Збірник типових енергоефективних заходів в електроенергетиці. ЦІЕ – 008. Введено в дію з 1 січня 2008 р. Наказом Укрзалізниці від «5» жовтня 2007 р. № 475Ц.
6. Енергозбереження засобами електроприводу. 2013 URL: [https://4exam.info/book\\_152\\_glava\\_49\\_5.1\\_Energoberezhennja\\_zasobami\\_elektroprivodu.html](https://4exam.info/book_152_glava_49_5.1_Energoberezhennja_zasobami_elektroprivodu.html).
7. ДСТУ 2339 – 94. Енергозбереження. Основні положення.
8. Бакалін Ю. І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: навчальний посібник / Ю. І. Бакалін. – [3-є видан. перероб. та доповн.]. – Харків: Бурун і К, 2006. – 320 с.
9. Основи електропривода: підручник / Ю. М. Лавріненко, П. І. Голодний, - К.: Видавництво Ліра – К, 2017. – 524 с.
10. Плєшков, С. П. Енергоефективний електропривод у промисловості та сільськогосподарському виробництві: навчальний посібник – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2016. – 160 с.
11. Попович М. Г. Теорія електропривода (підручник). К, Вища школа, 1993 – 494 с.
12. Енергетика та електромеханіка [електронний ресурс]: збірник тез доповідей секції 81 Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених, магістрантів та студентів «Наука і сталий розвиток транспорту» 28

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 62   |

жовтня 2021 р. – Дніпро: Дніпровський нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2021. – 42 с. Режим доступу: <http://ndch.diit.edu.ua/upload/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0>

13. ООО «ПО» Укрспецкомплект. Харків. Обладання для залізниць та метрополітена. Режим доступу: <http://usk.ua/>
14. Нестандартне технологічне обладнання для ремонту локомотивів, вагонів та моторвагонного рухомого складу. Режим доступа: <https://www.google.com.ua/search?xsrq=AleKk02Hnw-5uvB5n5RybDLkGsn7Y>
15. Універсальна машина для мийки колісних пар локомотивів (УММКП). Режим доступу: <https://ua.all.biz>
16. Мийні машини тягових двигунів локомотивів. Режим доступу: <https://www.google.com/search?q=мийна машина тягових двигунів>
17. ДСТУ 3886-99.Енергозбереження. Системи електроприводу. Метод аналізу та вибору. Київ. Держстандарт України. 2000. - 54с.
18. ПрАТ «Львівський локомотиворемонтний завод».Режим доступа: <https://lvivlrz.com/>
19. Камера обдування, фарбування тепловозних тягових двигунів, генераторів, гідромеханічних редукторів (ГРМ) с допоміжних машин. [Електрон. ресурс] / Режим доступа: <https://www.google.com.ua/search?q=камера+для+фарбування+тягових+двигунів>.
20. Машина мийна ММД-12А. [Електрон. ресурс] / Режим доступа: <https://www.google.com.ua/search?q=машина+мийна+ММД-12А8>.
21. Загальнопромислові електродвигуни серії АІР. Технічний каталог.ООО Днепроресурс.ЕЛМО. Режим доступа: <https://elmo.ua/ru/catalog/obshhepromyshlennye-elektrodivigateli-serii-air/>
22. Методичні вказівки з навчальної дисципліни «Методи та засоби енергозбереження в електротехнічних комплексів для аспірантів очної

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 63   |

форми навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електромеханіка, та електротехніка». Кременчук. КрНУ. 2019

23. Наказ про затвердження Вимог до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу електромагнітних полів [Електрон. ресурс] / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0335-14#Text>.
24. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань [Електрон. ресурс] / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0488-96#Text>.
25. Наказ про затвердження Державних санітарних норм та правил при роботі з джерелами електромагнітних полів [Електрон. ресурс] / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03#Text>.
26. Про затвердження правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ДНАОП 0.00-1.21-98) [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text>
27. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів - основні вимоги безпеки під час обслуговування електроустановок [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://leg.co.ua/knigi/pravila/pravila-bezpechnoyi-ekspluatsiyi-elektrostanovok-spozhyvachiv-2.html>
28. Правила пожежної безпеки в Україні: НАПБ А.01.001-2014 Введ. 30.12.2014 – К.: 2014. – 86 с.
29. Забезпечення пожежної безпеки в закладах. Режим доступу: <https://oppb.com.ua/docs/zabezpechennya-pozhezhnoyi-bezpeki-v-likuvalno-profilaktichnih-zakladah>
30. ПОРЯДОК надання домедичної допомоги постраждалим при ураженні електричним струмом та блискавкою. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0775-14#Text>

## СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ

1. Технічні характеристики машин для мийки тягових електродвигунів ММД–12А та А3024.
2. Розробка алгоритму досліджень.
3. Графіки залежностей для машин ММД-12А та А3024
4. Приклади нестандартного обладнання.

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 | 65   |

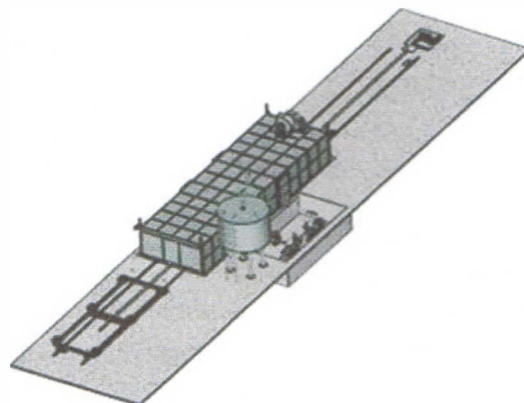
ДОДАТОК А

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | 7.141.170085.ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                 | 66   |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                 |      |

## ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИН ДЛЯ МИЙКИ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ММД-12А ТА А3024

### Технічні характеристики ММД-12А

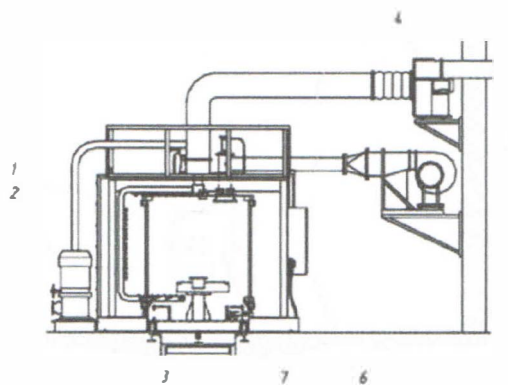
| № | Найменування показників                                        | Величина               |
|---|----------------------------------------------------------------|------------------------|
| 1 | Живляча мережа                                                 | 380 В                  |
| 2 | Максимальне навантаження транспортного візка                   | 10000 кг               |
| 3 | Час мийки                                                      | до 40 хв               |
| 4 | Габаритний розмір деталей, що миються<br>- довжина<br>- ширина | - 8000 мм<br>- 3360 мм |
| 5 | Висота транспортного візка камери                              | 3360 мм                |
| 6 | Потужність ТАД ЕП                                              | 2,2 кВт                |



Машина мийна ММД – 12А

### Технічні характеристики А3024

| № | Найменування показників                      | Величина |
|---|----------------------------------------------|----------|
| 1 | Живляча мережа                               | 380 В    |
| 2 | Максимальне навантаження транспортного візка | 5500 кг  |
| 3 | Час мийки                                    | до 30 хв |
| 6 | Потужність ТАД ЕП                            | 1,5 кВт  |



Машина мийна А3024

|           |      |              |                    |          |                                                                                  |                                                     |            |         |
|-----------|------|--------------|--------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------|---------|
|           |      |              |                    |          | Технічні характеристики машин для мийки тягових електродвигунів ММД-12А ТА А3024 |                                                     |            |         |
|           |      |              |                    |          | Енергозбереження засобами електроприводу на підприємствах залізниць              | Літ.                                                | Маса       | Масштаб |
| Змн.      | Арк. | № докум.     | Підпис             | Дата     |                                                                                  |                                                     | 1          | 1:1     |
| Розробив  |      | Трушина Т.Ю. | <i>[Signature]</i> | 01.12.22 |                                                                                  |                                                     |            |         |
| Перевірив |      | Маренич О.Л. | <i>[Signature]</i> | 01.12.22 |                                                                                  |                                                     |            |         |
| Т. контр  |      |              |                    |          |                                                                                  | Арк. 67                                             | Аркушів 70 |         |
| Реценз.   |      |              |                    |          | Додаток А<br>7.141.170085.01                                                     | МОН України. УДУНТ<br>Кафедра ЕТЕМ, група<br>ЕП2121 |            |         |
| Н. контр. |      | Карзова О.О. | <i>[Signature]</i> | 01.12.22 |                                                                                  |                                                     |            |         |
| Затвердив |      | Муха А.М.    | <i>[Signature]</i> | 01.12.22 |                                                                                  |                                                     |            |         |

## РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Кутова швидкість  $\omega_0$  обертання поля статора, номінальна кутова швидкість  $\omega_{\text{НОМ}}$  та момент двигуна

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p}$$

$$\omega_{\text{НОМ}} = \omega_0 (1 - S_{\text{НОМ}})$$

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}}$$

2. Приведений номінальний струм ротора:

$$I'_{2\text{НОМ}} \approx I_{1\text{НОМ}} \cos \varphi_{\text{НОМ}}$$

3. Струм намагнічування ТАД:

$$I_{\mu} \approx I_{1\text{НОМ}} \left( \sin \varphi_{\text{НОМ}} - \frac{\cos \varphi_{\text{НОМ}}}{\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}} \right)$$

де  $\lambda_m = \frac{M_K}{M_{\text{НОМ}}}$

$$\sin \varphi_{\text{НОМ}} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{НОМ}}}$$

4. Приведений опір статора активний:

$$R'_2 = \frac{M_{\text{НОМ}} \omega_0 S_{\text{НОМ}}}{3 I_{2\text{НОМ}}^2}$$

5. Реактивна потужність у номінальному режимі:

$$Q_{\text{НОМ}} = 3 U_{\phi} I_{1\text{НОМ}} \sin \varphi_{\text{НОМ}}$$

де  $U_{\phi} = U_{\text{НОМ}} = 380 \text{ В}$

6. Реактивна потужність режиму неробочого ходу:

$$Q_0 = 3 U_{\phi} I_{\mu} \sin \varphi_0$$

де приймаємо  $\cos \varphi_0 = 0,2$

7. Індуктивний опір короткого замикання

$$x_K = \frac{R'_2 (Q_{\text{НОМ}} - Q_0)}{M_{\text{НОМ}} \omega_0 S_{\text{НОМ}}}$$

16. Активний опір кола статора:

$$R_1 = \frac{(3 U_{\phi}^2 / 2 \omega_0 M_K)^2 - x_K^2}{2 (3 U_{\phi}^2 / 2 \omega_0 M_K)}$$

де -  $M_K = \lambda_m \cdot M_{\text{НОМ}}$

17. Повні номінальні втрати:

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}} \frac{1 - \eta_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}}$$

18. Змінні номінальні втрати:

$$\Delta P'_{\text{НОМ}} = \Delta P'_{1\text{НОМ}} + \Delta P'_{2\text{НОМ}} = 3 I_{1\text{НОМ}}^2 R_1 + 3 I_{2\text{НОМ}}^2 R'_2$$

19. Постійні втрати потужності:

$$K = \Delta P_{\text{НОМ}} - \Delta P'_{\text{НОМ}}$$

20. Зменшення реактивної потужності  $\Delta Q_{\Delta-Y}$  у разі перемикання обмоток статора зі схеми «трикутника» на схему «зірка»:

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = (2 Q_0 / 3) - 2 k_3^2 \Delta Q_{\text{НОМ}}$$

де  $\Delta Q_{\text{НОМ}} = Q_{\text{НОМ}} - Q_0$

$k_3 = 0,3$  - коефіцієнт завантаження, при якому здійснюється перемикання обмоток

21. Зменшення втрат активної потужності  $\Delta P_{\Delta-Y}$

$$\Delta P_{\Delta-Y} = (2 \Delta P_0 / 3) - 2 k_3^2 \Delta P_{\text{НОМ}}$$

$$\Delta P_0 = 0,35 \cdot \Delta P_{\text{НОМ}}$$

22. Загальне зменшення втрат потужності:

$$\Delta P_{EK} = K_E \cdot \Delta Q_{\Delta-Y} + \Delta P_{\Delta-Y}$$

$K_E = 0,1$  - коефіцієнт зменшення втрат потужності

23. Загальне зменшення втрат потужності у відсотках

$$\Delta P_{EK} \% = \frac{\Delta P_{EK}}{\Delta P_{\text{НОМ}}} \cdot 100\%$$

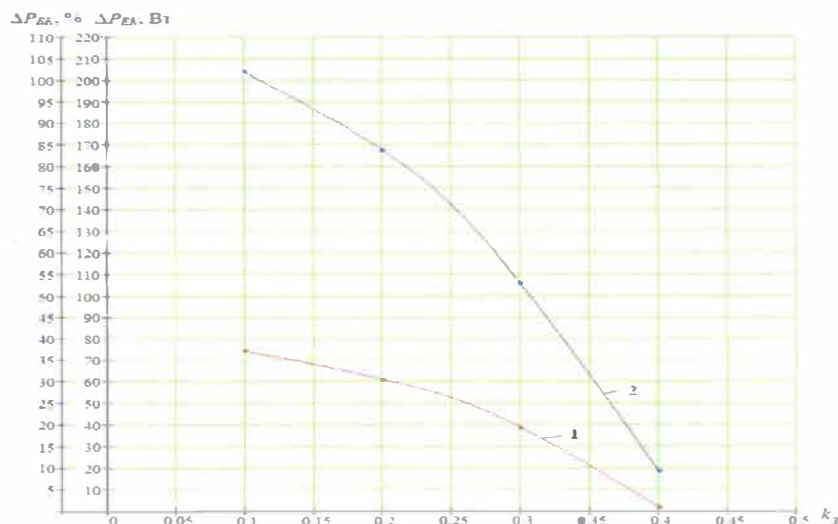
|           |      |              |        |          |                                                                     |                                                     |    |         |         |  |
|-----------|------|--------------|--------|----------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----|---------|---------|--|
|           |      |              |        |          | Розробка алгоритму досліджень                                       |                                                     |    |         |         |  |
|           |      |              |        |          | Енергозбереження засобами електроприводу на підприємствах залізниць | Літ.                                                |    | Маса    | Масштаб |  |
| Змн.      | Арк. | № докум.     | Підпис | Дата     |                                                                     |                                                     |    | 1       | 1:1     |  |
| Розробив  |      | Трушина Т.Ю. |        | 01.12.22 |                                                                     |                                                     |    |         |         |  |
| Перевірив |      | Маренич О.Л. |        | 01.12.22 |                                                                     |                                                     |    |         |         |  |
| Т. контр. |      |              |        |          |                                                                     | Арк.                                                | 68 | Аркушів | 70      |  |
| Реценз.   |      |              |        |          | Додаток А<br>7.141.170085.02                                        | МОН України. УДУНТ<br>Кафедра ЕТЕМ, група<br>ЕП2121 |    |         |         |  |
| Н. контр. |      | Карзова О.О. |        | 01.12.22 |                                                                     |                                                     |    |         |         |  |
| Затвердив |      | Муха А.М.    |        | 01.12.22 |                                                                     |                                                     |    |         |         |  |

# ГРАФІКИ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ДЛЯ МИЙНИХ МАШИНИ ММД-12А ТА А3024

Двигун АІР90L4,  $\Delta P_{\text{НОМ}} = 2,2 \text{ кВт}$

1 -  $\Delta P_{\text{ЕК}}$ , %

2 -  $\Delta P_{\text{ЕК}}$ , Вт



Двигун АІР 8084,  $\Delta P_{\text{НОМ}} = 1,5 \text{ кВт}$

1 -  $\Delta P_{\text{ЕК}}$ , %

2 -  $\Delta P_{\text{ЕК}}$ , Вт



## Графіки залежностей для мийних машини ММД-12А та А3024

|           |      |              |                    |          | Літ.                                                                |  |  | Маса    | Масштаб    |
|-----------|------|--------------|--------------------|----------|---------------------------------------------------------------------|--|--|---------|------------|
| Змн.      | Арк. | № докум.     | Підпис             | Дата     | Енергозбереження засобами електроприводу на підприємствах залізниць |  |  | 1       | 1:1        |
| Розробив. |      | Трушина Т.Ю. | <i>[Signature]</i> | 01/12/22 |                                                                     |  |  |         |            |
| Перевірив |      | Маренич О.Л. | <i>[Signature]</i> | 01/12/22 |                                                                     |  |  |         |            |
| Т. контр. |      |              |                    |          |                                                                     |  |  |         |            |
| Реценз.   |      |              |                    |          | Додаток А<br>7.141.170085.03                                        |  |  | Арк. 69 | Аркушів 70 |
| Н. контр. |      | Карзова О.О. | <i>[Signature]</i> | 01/12/22 |                                                                     |  |  |         |            |
| Затвердив |      | Муха А.М.    | <i>[Signature]</i> | 01/12/22 |                                                                     |  |  |         |            |
|           |      |              |                    |          | МОН України. УДУНТ<br>Кафедра ЕТЕМ, група<br>ЕП2121                 |  |  |         |            |

## ПРИКЛАДИ НЕСТАНДАРТНОГО ОБЛАДНАННЯ



Рис.1– Машина мийна рам візків АММ-РТ-12



Рис.2 – Камера для фарбування ПК-РТ-12



Рис.3 – Камера для обдування тягових двигунів ДК.443135.004

|           |      |              |                |          |                                                                     |                                                     |         |         |
|-----------|------|--------------|----------------|----------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------|---------|
|           |      |              |                |          | Приклади нестандартного обладнання                                  |                                                     |         |         |
|           |      |              |                |          | Енергозбереження засобами електроприводу на підприємствах залізниць | Літ.                                                | Маса    | Масштаб |
| Змн.      | Арк. | № докум.     | Підпис         | Дата     |                                                                     |                                                     | 1       | 1:1     |
| Розробив. |      | Трушина Т.Ю. | <i>Трушина</i> | 01.12.22 |                                                                     |                                                     |         |         |
| Перевірив |      | Маренич О.Л. | <i>Маренич</i> | 01.12.22 |                                                                     |                                                     |         |         |
| Т. контр. |      |              |                |          |                                                                     | Арк. 70                                             | Арк. 70 |         |
| Реценз.   |      |              |                |          | Додаток А<br>7.141.170085.04                                        | МОН України. УДУНТ<br>Кафедра ЕТЕМ, група<br>ЕП2121 |         |         |
| Н. контр. |      | Карзова О.О. | <i>Карзова</i> | 01.12.22 |                                                                     |                                                     |         |         |
| Затвердив |      | Муха А.М.    | <i>Муха</i>    | 01.12.22 |                                                                     |                                                     |         |         |