

SCI-CONF.COM.UA

SCIENCE, TECHNOLOGY AND GLOBAL CHALLENGES



**PROCEEDINGS OF III INTERNATIONAL
SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE
NOVEMBER 6-8, 2025**

**TOKYO
2025**

SCIENCE, TECHNOLOGY AND GLOBAL CHALLENGES

Proceedings of III International Scientific and Practical Conference

Tokyo, Japan

6-8 November 2025

Tokyo, Japan

2025

**ДОСЛІДЖЕННЯ НАГРІВУ МАГНІТОПРОВОДУ
АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА**

Попова Ірина Олексіївна,

к.т.н., доцент

Олійник Дмитро Євгенович,

Кот Анастасія Андріївна,

студенти,

Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

Анотація. В роботі проведено аналіз теплових процесів в магнітопроводі асинхронного двигуна як системи двох тіл; досліджено залежність нагріву магнітопроводу від коефіцієнта кратності напруги, перевищення температури оточуючого середовища, перевищення температури обмоток і магнітопроводу, сили струму в обмотках.

Ключові слова: асинхронний двигун, нагрів, навантаження, перевищення температури, втрати активної потужності.

Постановка проблеми. Для приводу робочих машин і механізмів в Україні найбільше часто застосовуються електроприводи на базі асинхронних двигунів, кількість яких досягає 95 % від усіх електроприводів [1; 2, с. 365; 3, с. 168]. Це пов'язано з високою конструкційною надійністю, значними енергетичними показниками та іншими характеристиками зазначених асинхронних двигунів [4, с. 181].

Асинхронні двигуни, які є силовими приводними агрегатами таких електроприводів, значний час роботи функціонують з не оптимальним навантаженням, що обумовлює зменшення їх коефіцієнта корисної дії у порівнянні з максимальним значенням.

Основні матеріали дослідження. Експлуатаційна надійність асинхронних двигунів в значній мірі визначається надійністю його фазних

обмоток, яка в свою чергу залежить від стану ізоляції. В процесі експлуатації асинхронні двигуни піддаються цілій низці експлуатаційних впливів, які можна розділити на два класи: режимні та кліматичні. Основного пошкодження в асинхронному двигуні зазнає фазна обмотка статора та її ізоляція. Нагрів магнітопроводів і обмоток статора та ротору викликають втрати потужності асинхронного двигуна [5, с. 171].

Аналіз останніх досліджень. В асинхронному двигуні (АД) спостерігаються нагрів обмоток статора, ротора і її ізоляції безпосередньо фазним струмом, а в сталі (магнітопроводі) статора, ротора нагрів викликається явищем гістерезису (перемагнічуванням сталі) та вихровими струмами, які створює змінне оберতальне магнітне поле в наслідок явища електромагнітної індукції. Втрати активної енергії, за рахунок цих фізичних явищ, характеризує коефіцієнт корисної дії асинхронного двигуна.

Теплова схема заміщення асинхронного двигуна, як системи двох тіл, наведена на рис. 1.

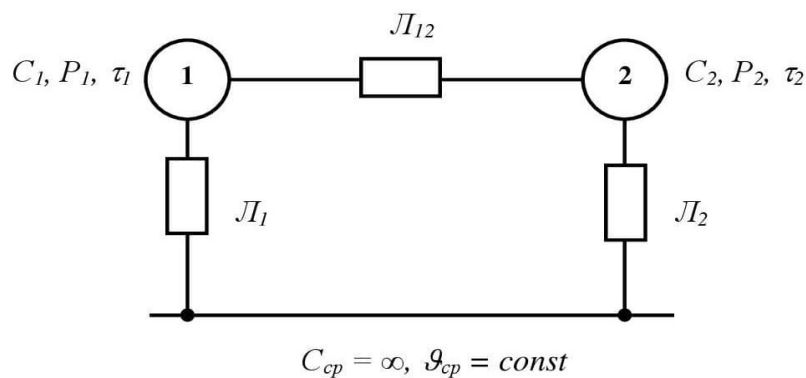


Рис. 1. Теплова схема заміщення асинхронного двигуна як системи двох тіл

Для аналізу теплових процесів в АД, розглянемо його як систему двох тіл: обмоток 1 і сталі (магнітопроводу) 2 [6, с. 140; 7, с. 160].

На рис. 1 введені наступні умовні позначення:

C_1 – теплоємність обмоток, Дж/°С;

C_2 – теплоємність сталі, Дж/°С;

P_1 – втрати активної потужності в обмотках, Вт;

P_2 – втрати активної потужності в сталі (магнітопроводі), Вт;

τ_1 – перевищення температури обмотки, °С;

τ_2 – перевищення температури сталі, °С;

C_{cp} – теплоємність оточуючого середовища, Дж/°С;

ϑ_{cp} – температура оточуючого середовища, °С;

L_1, L_2, L_{12} – теплові провідності відповідно між обмоткою і оточуючим середовищем, сталлю і оточуючим середовищем, обмоткою і сталлю, Дж/(с·°С).

Мета статті. Дослідити перехідні теплові процеси при нагріві магнітопроводу асинхронного двигуна і втрати активної потужності в ньому.

Основні матеріали дослідження. Одним з можливих діагностичних параметрів стану режиму роботи асинхронного двигуна може бути температура магнітопроводу (сталі).

Дослідимо, як буде нагріватися магнітопровід в функції нагріву обмотки у усталеному режимі для теплової схеми (рис. 1). Для теплової схеми заміщення асинхронного двигуна як системи двох тіл (рис.1) складемо рівняння теплового балансу системи

$$C_1 \frac{d\tau_1}{dt} + L_1 \tau_1 + L_{12}(\tau_1 - \tau_2) = (1 + \alpha \tau_1) P_{10}; \quad (1)$$

$$C_2 \frac{d\tau_2}{dt} + L_2 \tau_2 + L_{12}(\tau_2 - \tau_1) = P_2. \quad (2)$$

де P_{10} – втрати активної потужності в обмотці при температурі оточуючого середовища, Вт;

α – температурний коефіцієнт опору матеріалу обмотки, 1/°С;

t – поточний час, с.

Для спрощення дослідження не будемо враховувати підвищення опору обмотки при нагріванні. Тоді рівняння теплового балансу (1), (2)

$$C_1 \frac{d\tau_1}{dt} + L_1 \tau_1 + L_{12}(\tau_1 - \tau_2) = P_1; \quad (3)$$

$$C_2 \frac{d\tau_2}{dt} + L_2 \tau_2 - L_{12}(\tau_1 - \tau_2) = P_2, \quad (4)$$

де P_1, P_2 – втрати активної потужності в обмотках та сталі, Вт.

Складемо рівняння (3), (4) в усталеному режимі, коли $\frac{d\tau_1}{dt} = 0$ і

$\frac{d\tau_2}{dt} = 0$, а $\tau_1 = \tau_{1y}$, $\tau_2 = \tau_{2y}$, та отримаємо

$$L_1 \tau_{1y} + L_2 \tau_{2y} = P_1 + P_2, \quad (5)$$

З рівняння (5) знайдемо усталене перевищення температури магнітопроводу у функції усталеного перевищення температури обмотки

$$\tau_{2y} = \frac{P_1 + P_2 - L_1 \tau_{1y}}{L_2}. \quad (6)$$

Перепишемо рівняння (5) для номінального режиму, коли $P_1 = P_{1н}$, $P_2 = P_{2н}$; $\tau_{1y} = \tau_{1н}$, $\tau_{2y} = \tau_{2н}$, та знайдемо перевищення температури магнітопроводу в номінальному режимі

$$\tau_{2н} = \frac{P_{1н} + P_{2н} - L_1 \tau_{1н}}{L_2}, \quad (7)$$

З (7) знайдемо теплову провідність магнітопроводу

$$L_2 = \frac{P_{1н} + P_{2н} - L_1 \tau_{1н}}{\tau_{2н}}. \quad (8)$$

Підставимо (8) у (6)

$$\tau_{2y} = \frac{P_1 + P_2 - L_1 \tau_{1y}}{P_{1н} + P_{2н} - L_1 \tau_{1н}} \tau_{2н}. \quad (9)$$

Теплову провідність L_1 визначимо з опиту холостого ходу, для якого можемо записати

$$\tau_{2y} = \frac{P_{1x} + P_{2н} - L_1 \tau_{1x}}{P_{1н} + P_{2н} - L_1 \tau_{1н}} \tau_{2н}, \quad (10)$$

де τ_{2x} – перевищення температури магнітопроводу в опиті холостого ходу, °С;

τ_{1x} – перевищення температури обмотки в опиті холостого ходу, °С;

P_{1x} – втрати у обмотці в опиті холостого ходу, Вт.

З рівняння (10) знайдемо

$$\mathcal{L}_1 = \frac{(P_{1H} + P_{2H})\tau_{1x} - (P_{1x} + P_{2H})\tau_{2H}}{\tau_{1H}\tau_{2x} - \tau_{1x}\tau_{2H}}. \quad (11)$$

Усталене перевищення температури обмотки визначаємо за виразом

$$\tau_{1y} = \tau_{1H} \frac{a + k^2}{a + 1 - \alpha \tau_{1H} (k^2 - 1)}, \quad (12)$$

де τ_{1H} – номінальне перевищення температури обмотки, °С;

a – коефіцієнт втрат;

k – кратність струму статора.

Втрати активної потужності в обмотці

$$P_1 = 3R_1 I^2 \gamma_P, \quad (13)$$

де R_1 – активний опір обмотки, Ом;

I – сила струму фази обмотки, А;

γ_P – коефіцієнт, що враховує втрати активної потужності в обмотці.

Втрати в магнітопроводі постійні

$$P_2 = P_{\text{мех}} + P_{\text{мгн}} k_U^2 + P_{\text{доод}}, \quad (14)$$

де $P_{\text{мех}}$ – механічні втрати, Вт;

$P_{\text{мгн}}$ – втрати в магнітопроводі у номінальному режимі, Вт;

k_U^2 – кратність фазної напруги;

$P_{\text{доод}}$ – додаткові втрати, Вт.

Втрати в обмотці у опиті холостого ходу при номінальній напрузі

$$P_{1x} = 3R_1 I_x^2 \gamma_P, \quad (15)$$

де I_x – сила струму при опиті холостого ходу, А.

Висновок. Таким чином, нагрів магнітопроводу АД, в залежності від коефіцієнту кратності напруги k_U і абсолютної температури оточуючого середовища $\vartheta_{\text{сєр}}$, визначається: силою струму в обмотках I , номінальним перевищенням температурою обмотки τ_{1H} , перевищенням температури обмотки при опиті холостого ходу τ_{1x} , номінальним перевищенням температури магнітопроводу τ_{2H} , перевищення температури магнітопроводу при опиті холостого ходу τ_{2x} , поточним перевищенням температури обмотки τ_1 , силою

струму при опиті холостого ходу I_x , активним опором обмотки R_1 , коефіцієнтом, що враховує втрати активної потужності в обмотці γ_p , втратами потужності в обмотці при номінальному режимі $P_{1н}$, втратами потужності в магнітопроводі при номінальному режимі $P_{2н}$, механічними втратами $P_{мех}$, втратами в магнітопроводі у номінальному режимі $P_{мгн}$, додатковими втратами $P_{дод}$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Попова І.О., Чаусов С.В., Вовк О.Ю. Обґрунтування ресурсозберігаючого режиму трифазного симетричного динамічного навантаження при обриві однієї фази /Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання /ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В.М. Кюрчев. Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. Вип. 24, т. 2. DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-24.

2. Kurashkin S., Popova I., Popryaduhin V.S., Kovalov O.V. Mathematical model of asynchronous motor diagnosis /Science progress in European countries: new concepts and modern solutions. Proceedings of the 6th International conference. ORT Publishing. Stuttgart, Germany. 2019. Pp. 361-366.

3. Попова І.О. Аналіз параметрів обмоток динамічного навантаження при несиметрії напруги. *Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації* /Матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (30 квітня 2024 р., університет Григорія Сковороди у Переяславі): зб. наук. праць. Переяслав, 2024. Вип.104. С. 167-169.

4. Попова І.О., Квітка С.О., Вовк О.Ю. Дослідження несиметричного режиму на роботу динамічного індуктивного навантаження / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ; гол.ред д.т.н. В.М. Кюрчев. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. Вип. 23, т.1. с.179-187. DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-1-179-187.

5. Попова І.О., Олійник Д.Є. Несиметрія напруги, струмів у трифазних низьковольтних мережах та наслідки для устаткування *Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації* / матеріали Міжнар.

наук.-практ. інтернет-конф. (30 вересня 2024 р., університет Григорія Сковороди у Переяславі): зб. наук. праць. Переяслав, 2024. Вип.109. С. 169-172.

6. Попова І.О., Олійник Д.Є., Кот А.А. Дослідження теплових процесів в асинхронном двигуні з короткозамкненим ротором *Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації* / матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (27 грудня 2024 р., університет Григорія Сковороди у Переяславі): зб. наук. праць. Переяслав, 2024. Вип.112. С. 139-143.

7. Попова І.О., Чаусов С.В. Визначення величин, що характеризують експлуатаційні впливи на режими роботи асинхронного двигуна // *Science in the modern world: innovations and challenges*. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. Perfect Publishing. Toronto, Canada. 2025. С. 156-164. URL: <https://sci-conf.com.ua/viii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-science-inthe-modern-world-innovations-and-challenges-17-19-04-2025-toronto-kanada-arhiv/>