

УДК 621.313.333

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА – НАГРІВАЧА РІДИНИ**

Овчаров В.В., д.т.н.,

Вовк О.Ю., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. 8 (0619) 42-32-63

**Анотація** – робота присвячена дослідженню асинхронного електродвигуна, що працює в режимі динамічного гальмування, який призначено для нагрівання рідини.

**Ключові слова** – вітротеплогенератор, асинхронний електродвигун, динамічне гальмування, втрати потужності, нагрівання рідини.

*Постановка проблеми.* Опалення та гаряче водопостачання індивідуальних будинків в Україні були та залишаються об'єктом постійного вдосконалення, головна мета якого полягає у зменшенні металоемності та габаритів систем опалення та гарячого водопостачання, а також у підвищенні їх надійності та енергоефективності [1].

*Аналіз останніх досліджень.* Одним з джерел енергії для системи гарячого водопостачання індивідуального будинку є вітер. Головним елементом системи гарячого водопостачання індивідуального будинку із використанням енергії вітру є вітротеплогенератор, який на відміну від вітроелектрогенератора енергію вітру перетворює в теплоту. Вітротеплогенератори, що існують на сьогодні, дозволяють перетворювати енергію вітру в теплову енергію гідравлічним шляхом, використовуючи явище тертя. Такий вітротеплогенератор додатково обладнується мультиплікатором, акумулятором теплоти та деякими іншими приладами, що призводить до збільшення габаритів такої установки [1].

Тому в роботі запропоновано перетворювати енергію вітру в теплову енергію електромагнітним шляхом, використовуючи явище теплової дії струму, а у якості вітротеплогенератора використовувати асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором, що працює в режимі динамічного гальмування.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою роботи була розробка методики оцінки енергетичної ефективності

вітротеплогенератора на базі асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором, що працює в режимі динамічного гальмування.

У відповідності до цього було поставлено наступні задачі:

– проаналізувати схеми з'єднань обмоток статора в режимі динамічного гальмування;

– розробити методику визначення потужності, яка виділяється в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором, що працює в режимі динамічного гальмування;

– проаналізувати значення потужності, яка виділяється в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором, що працює в режимі динамічного гальмування в залежності від частоти обертання валу та кількості пар полюсів при незмінному струму намагнічування.

*Основна частина.* В режимі динамічного гальмування обмотки статора приєднують до мережі постійного струму. В наслідок чого в обмотках статора асинхронного електродвигуна з'являється постійний магнітний потік збудження. Через те, що вал електродвигуна обертається, вказаний магнітний потік індуктує в обмотках ротора змінну е.р.с. Вся енергія, що виділяється в асинхронному електродвигуні перетворюється в теплоту. Подальший аналіз динамічного гальмування виконано на підставі [2 – 5].

В якості джерела постійного струму можуть використовуватись: машинні генератори, акумулятори, випрямлячі (діодні, транзисторні, тиристорні, інші). У роботі для дослідження було обрано акумулятор як джерело постійного струму.

Дві або три фази статора з'єднують за певними схемами: несиметричними та симетричними, які розглядаються в [2 – 3]. Ці схеми за принципом дії відрізняються тим, що в несиметричних схемах гальмівне поле створюється головним чином першою гармонікою сумарної намагнічуючої сили, а треті гармоніки спричиняють лише незначне гальмівне моменту (10 – 15 %). В симетричних схемах головним гальмівним полем є сумарне поле третіх гармонік, а перші гармоніки взаємно знищуються. Схема, що дозволяє отримати найбільшу кількість теплоти від дії першої гармоніки сумарної намагнічуючої сили, є симетричною і має вигляд, приведений на рисунку 1.

Для аналізу роботи асинхронного двигуна у досліджуваному режимі постійний струм, що проходить по обмоткам статора, замінюють еквівалентним змінним струмом, який створює таку ж саму магніторушійну силу. Взаємозв'язок між цими струмами наступний

$$I_E = k_E \cdot k_{OB} \cdot I, \quad (1)$$

де  $I_E$  – еквівалентний змінний струм, А;

$I$  – постійний струм, А;

$k_E$  – коефіцієнт приведення постійного струму до змінного;

$k_{OB}$  – обмотковий коефіцієнт обмоток статора.

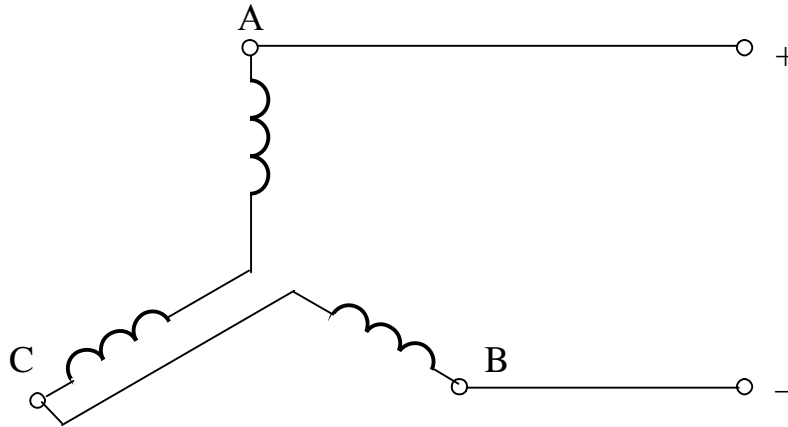


Рис.1. Схема з'єднання обмоток статора при динамічному гальмуванні.

Втрати активної потужності в асинхронному електродвигуні при динамічному гальмуванні дорівнюють

$$\Delta P = \Delta P_{E1} + \Delta P_{E2} + \Delta P_{MX} + \Delta P_D, \quad (2)$$

де  $\Delta P$  – втрати активної потужності в асинхронному електродвигуні при динамічному гальмуванні, *Вт*;

$\Delta P_{E1}$  – втрати активної потужності в обмотках статора при динамічному гальмуванні, *Вт*;

$\Delta P_{E2}$  – втрати активної потужності в обмотках ротора при динамічному гальмуванні, *Вт*;

$\Delta P_{MX}$  – втрати активної потужності в механічній системі при динамічному гальмуванні, *Вт*;

$\Delta P_D$  – додаткові втрати активної потужності при динамічному гальмуванні, *Вт*.

Втрати активної потужності в обмотках статора:

$$\Delta P_{E1} = 3,37 \cdot I_E^2 \cdot r_1, \quad (3)$$

де  $r_1$  – активний опір фази обмотки статора, *Ом*.

Втрати активної потужності в обмотках ротора

$$\Delta P_{E2} = M \cdot \omega, \quad (4)$$

де  $M$  – поточний гальмівний момент асинхронного двигуна, *Н·м*;

$\omega$  – поточна кутова швидкість асинхронного двигуна, *рад/с*.

Поточний гальмівний момент асинхронного двигуна визначається за формулою

$$M = \frac{2 \cdot M_{KP}}{s_{KP} / s + s / s_{KP}}, \quad (5)$$

де  $M_{KP}$  – критичний гальмівний момент асинхронного двигуна, *Н·м*;

$s_{KP}$  – критичне ковзання асинхронного електродвигуна;

$s$  – поточне ковзання асинхронного електродвигуна.

Критичний гальмівний момент асинхронного електродвигуна

$$M_{KP} = \frac{3 \cdot I_E^2 \cdot x_m^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot (x_m + x'_2)}, \quad (6)$$

де  $x_m$  – індуктивний опір взаємної індукції, Ом;

$x'_2$  – індуктивний опір обмоток ротора, приведений до обмотки статора, Ом;

$\omega_0$  – синхронна кутова швидкість асинхронного двигуна, рад/с.

Критичне ковзання асинхронного електродвигуна дорівнює

$$s_{KP} = \frac{r'_2}{x_m + x'_2}, \quad (7)$$

де  $r'_2$  – активний опір обмоток ротора, приведений до обмотки статора, Ом.

Поточне ковзання асинхронного електродвигуна при динамічному гальмуванні дорівнює

$$s = \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{n}{n_0}, \quad (8)$$

де  $n$  – поточна швидкість обертання асинхронного двигуна, об/хв;

$n_0$  – синхронна швидкість обертання асинхронного двигуна, об/хв.

Втрати активної потужності в механічній системі при динамічному гальмуванні згідно [4] дорівнюють

$$\Delta P_{MX} = (0,1 - 0,01p) \cdot \left( \frac{P_H}{\eta_H} - P_H \right) \cdot s^2, \quad (9)$$

де  $p$  – кількість пар полюсів асинхронного двигуна;

$P_H$  – номінальна потужність асинхронного двигуна, Вт;

$\eta_H$  – номінальний коефіцієнт корисної дії асинхронного двигуна.

Додаткові втрати активної потужності в асинхронному електродвигуні при динамічному гальмуванні дорівнюють:

$$\Delta P_D = 0,005 \cdot (\Delta P_{E1} + \Delta P_{E2} + \Delta P_{MX}). \quad (10)$$

Таким чином, математичну модель процесу виділення потужності в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором, що працює в режимі динамічного гальмування можна представити в наступному вигляді (рис. 2).

Використовуючи математичну модель (рис.2), дослідимо, як змінюється кількість виділення потужності в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором, що працює в режимі динамічного гальмування, при зміні швидкості обертання валу та при різній кількості пар полюсів за умови, що по обмоткам статора протікає номінальний струм електродвигуна. Для цього оберемо наступні електродвигуни: 4A100S4Y3, 4A112MA6Y3 та 4A112MB8Y3, які згідно [5] мають характеристики, наведені в таблиці 1.

Результати зазначеного дослідження для електродвигуна 4А100S4УЗ приведено в таблиці 2.

Результати зазначеного дослідження для електродвигуна 4А112МА6УЗ приведено в таблиці 3.

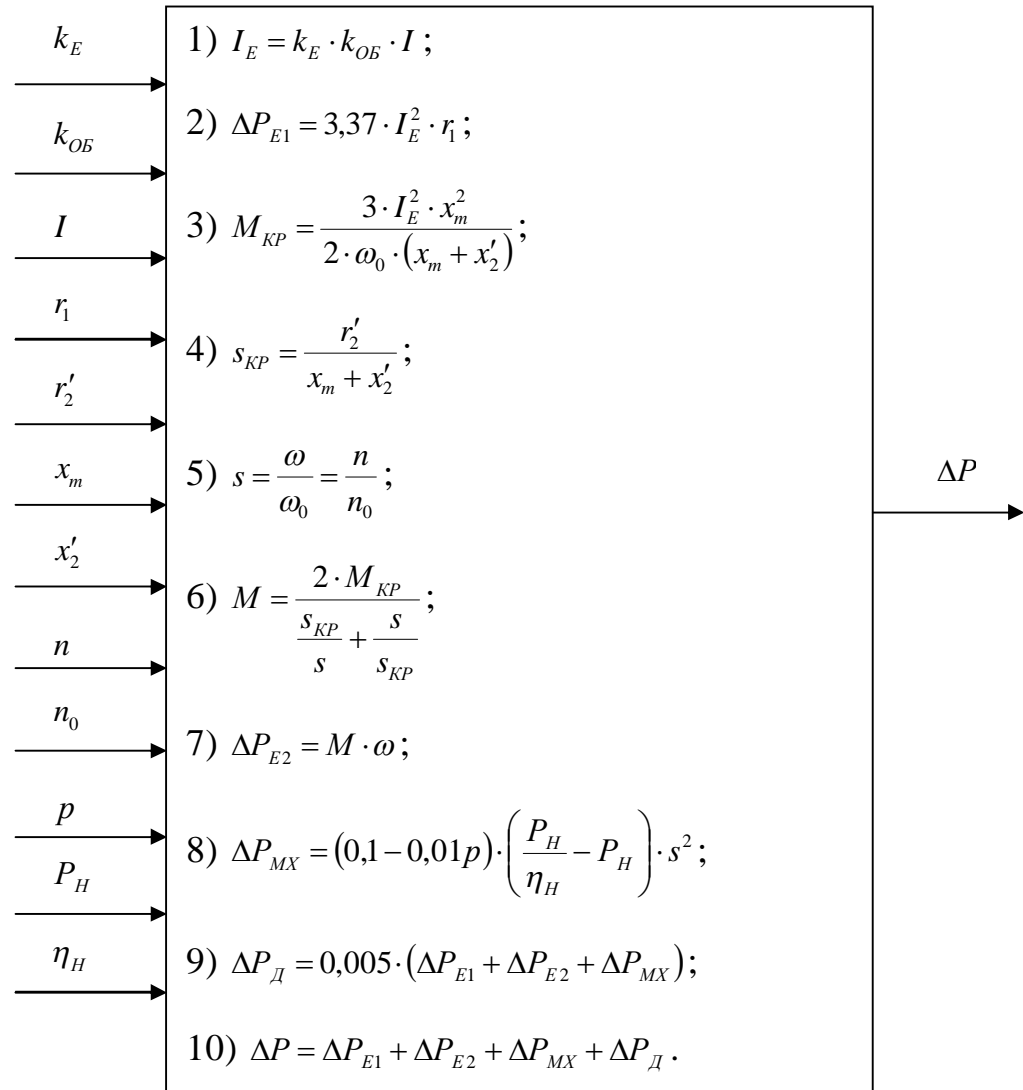


Рис.2. Математична модель процесу виділення потужності в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором, що працює в режимі динамічного гальмування.

Таблиця 1

Типорозмір	$P_H$ , кВт	$\eta_H$	$I_H$ , А	$p$	$n_0$ , об/хв	$r_1$ , Ом	$r'_2$ , Ом	$x'_2$ , Ом	$x_m$ , Ом	$k_{OB}$	$k_E$
4А100S4УЗ	3,0	0,82	6,7	2	1500	1,9	1,75	4,28	42,47	0,958	0,94
4А112МА6УЗ	3,0	0,81	7,4	3	1000	2,07	1,88	2,98	56,61	0,958	0,94
4А112МВ8УЗ	3,0	0,80	7,7	4	750	1,87	2,36	4,84	45,56	0,958	0,94

Результати зазначеного дослідження для електродвигуна 4А112МВ8У3 приведено в таблиці 4.

Таблиця 2

<i>n</i> , <i>об/хв</i>	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
$\Delta P$ , <i>Вт</i>	231	353	380	387	391	394	398	401	405	409	414	419	424	430	436	443	451

Таблиця 3

<i>n</i> , <i>об/хв</i>	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
$\Delta P$ , <i>Вт</i>	308	516	532	538	542	547	553	559	567	575	585	595	607	619	633	647	662

Таблиця 4

<i>n</i> , <i>об/хв</i>	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
$\Delta P$ , <i>Вт</i>	305	559	584	592	600	608	618	629	641	655	671	689	708	729	751	775	801

*Висновок.* Результати дослідження показують: 1) кількість активної потужності, яка виділяється у вигляді втрат в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором, що працює в режимі динамічного гальмування, збільшується при збільшенні кількості пар полюсів електродвигуна та збільшенні швидкості обертання валу електродвигуна; 2) номінальна потужність електродвигуна в режимі динамічного гальмування використовується приблизно на 10 – 20 %.

#### Література

1. *Корчемний М.* Енергозбереження в агропромисловому комплексі / *Корчемний М., Федорейко В., Щербань В.* – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 984 с.
2. *Петров И.И.* Специальные режимы работы асинхронного электропривода / *Петров И.И., Мейстель А.М.* – М.: Энергия, 1968. – 264 с.

3. *Мейстель А.М.* Динамическое торможение приводов с асинхронными двигателями / Под ред. *М.Г. Чиликина*. – М.-Л.: Энергия, 1967. – 136 с.

4. *Назарьян Г.Н.* Метод расчётного определения потерь и КПД асинхронных двигателей по паспортным данным // *Праці / Таврійський державний агротехнологічний університет*. – Вип. 45. – Мелітополь: ТДАТУ, 2006. – С. 76-82.

5. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / *А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е. А. Соболенская*. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ – НАГРЕВАТЕЛЯ ЖИДКОСТИ**

Овчаров В.В., Вовк А.Ю.

### *Аннотация*

**Работа посвящена исследованию асинхронного электродвигателя, который работает в режиме динамического торможения, предназначенного для нагревания жидкости.**

## **ELECTRIC MOTOR RESEARCH – THE LIQUID HEATER**

V. Ovcharov, O. Vovk

### *Summary*

**Work is devoted research of the asynchronous electric motor which works in a mode of the dynamic braking intended for heating of a liquid.**