

### Список літератури

1. Асинхронные двигатели серии 4А : справ. / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская. – М. : Энергоиздат, 1982. – 196 с.
2. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л. А. Бессонов. – М. : Высш. шк., 1996. – 350 с.
3. Довідник сільського електрика / [В. В. Олійник, Л. П. Тищенко, Є. Л. Жулай та ін.] ; за ред. В. С. Олійника. – [3-є вид., перероб. і доп.]. – К. : Урожай, 1989. – 264 с.
4. Компенсовані асинхронні машини: монографія / [Мишин В.І., Каплун В.В., Чуенко Р.М. та ін.]. – К. : КНУТД, 2012. – 221 с.
5. Мишин В. И. Эффект внутренней емкостной компенсации реактивной мощности в асинхронных двигателях / В. И. Мишин, Р. Н. Чуенко, В. В. Гаврилюк // Электротехника. – 2009. – № 8. – С. 30–36.

*Рассмотрены условия возникновения резонансных режимов в компенсированных асинхронных двигателях в пусковых и номинальных режимах. Обосновано влияние резонансов напряжений и токов на работу двигателей.*

***Асинхронный двигатель, компенсация реактивной мощности, резонанс.***

*Resonance modes in compensated induction motors. The paper studies initiation conditions of resonance in compensated induction motors in starting condition and nominal rating. Influence of voltage resonance and current resonance on operation of induction motors is established.*

***Induction motor, reactive power compensation, resonance.***

УДК 631.3:621.1

### ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ЗАНУРЮВАЛЬНОГО ЕЛЕКТРОНАСОСНОГО АГРЕГАТУ

***В.Є. Василенков, кандидат технічних наук  
Д.В. Субіцький, студент***

*Наведено дослідження щодо визначення теплового балансу занурювального електронасосного агрегату.*

***Температура, допустима частота включень, витрата води, занурювальний насос, об'єм башти.***

При роботі в електродвигуні мають місце втрати електроенергії, які викликають нагрівання. Підвищення температури обмотки вищедопустимі значно скорочує термін служби ізоляції.

При аналізі нагрівання двигуна оцінюється перевищення його температури над температурою охолоджувального середовища. У стандартах за нормальну температуру газоподібного охолоджувального середовища прийнята температура + 40 °С.

У сучасних електродвигунах, як правило, використовуються ізоляційні матеріали класів В та F, для яких ГОСТ 8865–87 встановлює допустимі температури обмоток відповідно 130 та 155 °С. Допустиме перевищення температури частин машини наводиться з деяким запасом, враховуючи неточність вимірювання та неможливість визначити температуру в найгарячішому місці обмотки. За ГОСТ 183–74 “Машини електричні обертові” допустимі перевищення температури частин електричних машин при температурі охолоджувального повітря + 40 °С і висоті над рівнем моря до 1000 м залежно від методу вимірювання встановлюються за даними таблиці.

### Допустимі перевищення температури частин електричних машин

Частини електричних машин	Допустимі перевищення температури, °С			
	Клас ізоляції В		Клас ізоляції F	
	Метод закладених температурних індикаторів	Метод опору	Метод закладених температурних індикаторів	Метод опору
Обмотки електричних машин змінного струму потужністю менше 5000 кВА і довжиною осердя менше 1 м	80	80	100	100
Стальні осердя та інші стальні частини, що дотикаються до ізолюваних обмоток	80	–	100	–

Допустимі температури нагрівання підшипників електричних машин: + 100 °С для підшипників кочення і + 80 °С для підшипників ковзання.

Аналітичне визначення перевищення температури обмоток та інших частин електродвигуна залежно від часу є досить важким через складність теплових процесів в електричних машинах. У першу чергу аналіз теплового режиму ускладнюється неоднорідністю машини в цілому (сталь, мідь, ізоляція) та окремих її частин. Тому для спрощення аналізу вважають двигун однорідним тілом. При цьому формули, що описують процеси нагрівання, спрощуються і полегшується аналіз температурного стану двигуна. Перевищення температури електродвигуна над температурою охолоджувального середовища визначають із залежності:

$$\tau = \frac{\Delta P}{A} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_H}} \right) + \tau_{\text{ноч}} e^{-\frac{t}{T_H}}. \quad (1)$$

де  $\tau$  – перевищення температури електродвигуна, град.;  $\Delta P$  – потужність втрат у °вигуні, Дж/с (Вт);  $A$  – тепловіддача двигуна, Дж/с-град;  $t$  – час, с;

$T_H$  – стала часу нагрівання, с ( $T_H = C/A$ );  $\tau_{поч}$  – початкове перевищення температури двигуна, град;  $C$  – теплоємність двигуна, Дж/град.

При  $t \rightarrow \infty$  температура двигуна набуває усталеного значення  $\tau_{уст} = Q/A$  і рівняння (1) записується так:

$$\tau = \tau_{уст} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_H}} \right) + \tau_{поч} e^{-\frac{t}{T_H}}. \quad (2)$$

Охолодження двигуна до температури охолоджувального середовища при вимиканні його з мережі описується залежністю:

$$\tau = \tau_{поч} e^{-\frac{t}{T_H}}. \quad (3)$$

Двигун набуває усталеної температури при роботі протягом часу, що дорівнює  $t_{уст} = (4 - 5) T_H$ .

На температуру двигуна особливе значення має частота його включень.

Припустима частота включень у годину насосних установок — це таке число включень, при якому середня температура двигуна після великої кількості робочих циклів буде рівна максимально допустимою. Двигун використовується повністю, якщо при роботі з номінальною швидкістю втрати енергії, виділювані в навколишнє середовище, ті ж, що й у номінальному режимі. Тому дослідження теплового балансу занурювального насоса, що впливає на визначення припустимої частоти його включень, і як похідна, підвищення його експлуатаційної надійності є актуальною задачею.

**Мета досліджень** – обґрунтування допустимої частоти включень занурювального насоса на основі дослідження теплового балансу занурювального електронасосного агрегату

**Матеріали та методика досліджень.** На основі дослідження технологічної схеми заповнення башти водою, визначення регульованого об'єма башти, подачі насосного агрегата визначається тепловий баланс занурювального електронасосного агрегату.

**Результати досліджень.** Об'єм башти визначають у результаті аналізу технологічної схеми заповнення її водою: 1) у башті об'ємом  $V_0$  діє тиск повітря  $P_0$ , а вода відсутня; 2) вода в башті перебуває на нижньому рівні  $HP$ , при якому відбувається автоматичне включення електронасоса, обсяг повітряної подушки  $V_1$  тиск повітря  $P_1$ ; 3) вода в башті перебуває на верхньому рівні  $BP$ , відбувається відключення електронасоса, об'єм повітря  $V_2$ , тиск  $P_2$ .

Регульований об'єм башти

$$V_p = V_1 - V_2. \quad (4)$$

Вважаючи, що кількість і температура повітря в процесі роботи залишаються постійними, за законом Бойля – Маріотта можна записати:

$$RT = P_0 V_0 = P_1 V_1 = P_2 V_2; \quad (5)$$

де  $R$  – газова постійна повітря;  $T$  – температура повітря, °С

З урахуванням виразу (5) регульований об'єм башти

$$V_p = P_0 V_0 \left( \frac{1}{P_1} - \frac{1}{P_2} \right); \quad (6)$$

повний об'єм

$$V_0 = V_p \frac{P_1}{P_0} \cdot \frac{1}{(1 - P_1/P_2)} \quad (7)$$

Звичайний тиск  $P_0=1$ , а відношення  $P_1/P_2=0,65\dots 0,75$  для невеликих установок і  $0,8\dots 0,85$  для великих. Повний об'єм казана можна зменшити, створивши попередній тиск повітря в ньому, для чого потрібен додатковий компресор з ручним або механічним приводом. Тиск  $P_1$  вибирають таким, щоб забезпечити подачу води до самого найвіддаленого споживача, а тиск  $P_2$  визначають із відношення  $P_1/P_2=0,65\dots 0,85$ .

Максимальну частоту включень у годину для установок з казаном визначають за формулою:

$$z_{\max} = \frac{Q_n}{4V_p} = \frac{Q_n P_1}{4P_0 V_0 (1 - P_1/P_2)} \quad (8)$$

Погіршення умов охолодження нерухомого самовентильованого двигуна враховують коефіцієнтом

$$\beta = T_n/T_0, \quad (9)$$

де  $T_n$  і  $T_0$  — відповідно постійні часу нагрівання й охолодження.

Якщо знехтувати незначною зміною температури, то тепловіддачу під час паузи можна виразити у вигляді  $\beta \Delta P_n t_0$ . Під час пуску й гальмування тепловіддача змінюється в межах від  $\beta \Delta P_n$  до  $\Delta P_n$ , тому кількість теплоти, що виділяється при пуску, визначається як  $((\beta+1)/2)\Delta P_n t_n$ , а при гальмуванні — як  $((\beta+1)/2)\Delta P_n t_r$ .

Позначаючи втрати енергії, які виділяються при пуску, через  $\Delta A_n$ , а за робочий період — через  $\Delta P_n t_p$  складають рівняння енергетичного балансу за цикл:

$$\Delta A_n + \Delta P_n t_p = ((\beta+1)/2)\Delta P_n t_n + \Delta P_n t_p + ((\beta+1)/2)\Delta P_n t_r + \beta \Delta P_n t_0, \quad (10)$$

де  $t_n$ ,  $t_p$ ,  $t_r$ , і  $t_0$  — відповідно час пуску, роботи, що встановився, гальмування й паузи.

Час циклу  $t_{\text{ц}}$  і частота включень за годину  $z$  зв'язані виразом

$$t_{\text{ц}} = 3600/z, \quad (11)$$

тому

$$t_p = \frac{3600}{z} \varepsilon - (t_n + t_r); \quad (12)$$

$$t_0 = \frac{3600}{z} (1 - \varepsilon). \quad (13)$$

Розв'язуючи спільно рівняння (10) і (13) відносно  $z$ , одержують формулу підрахунку для допустимого числа включень за годину при номінальному завантаженні двигуна:

$$z = \frac{3600\beta(1-\varepsilon)\Delta P_n}{\Delta A_n - \frac{1+\beta}{2}(t_n + t_r)\Delta P_n}. \quad (14)$$

З виразу (14) випливає, що припустима частота включень за годину тим більше, чим вище номінальні втрати  $\Delta P_n$  (двигуни з більш теплостійкою ізоляцією), чим досконаліше вентиляція ( $\beta = 1$ ) і чим менше пускові втрати  $\Delta A_n$ .

## Висновки

1. На основі дослідження технологічної схеми заповнення башти водою, визначення регульованого об'єма башти, подачі насосного агрегата визначається рівняння теплового балансу занурювального насоса за цикл роботи, отримано формулу підрахунку для допустимого числа включень за годину при номінальному завантаженні двигуна.

2. З досліджень випливає, що припустима частота включень за годину тим більше, чим вище номінальні втрати  $\Delta P_n$  (двигуни з більш теплостійкою ізоляцією) і чим менше пускові втрати  $\Delta A_n$ .

## Список літератури

1. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривід / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан. – Запоріжжя: Вид-во „Прем'єр”, 2005. – 461 с.

2. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. – М.: Колос, 1979. – 560 с.

*Приведены исследования по определению теплового баланса погружного электронасосного агрегата.*

***Температура, допустимая частота включений, расход воды, погружной насос, объем башни.***

*Presented studies to determine the heat balance of submersible electric pump.*

***Temperature, permissible switching frequency, water flow, submersible pump, the volume of the tower.***

УДК 620.92

## ВИЗНАЧЕННЯ ГОРЮЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛОМИ ТА АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ЇЇ ГОРІННЯ І ГАЗИФІКАЦІЇ

***О.В. Шеліманова, кандидат технічних наук  
В.А. Колієнко, асистент***

*Проаналізовано характеристики процесу горіння біомаси залежно від її вологості. Показано, що у разі збільшення вологості біомаси характеристики процесу горіння суттєво погіршуються.*

***Біомаса, солома, температура горіння, теплота згорання, вологість палива.***