

УДК 621.313.333

# ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ ГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЕЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Е. Ю. Юрьева**

Кандидат технических наук, доцент\*

**В. П. Шайда**

Кандидат технических наук, доцент\*

Контактный тел.: (0572) 707-65-77, 097-454-34-15

E-mail: vito@kpi.kharkov.ua

**А. Ф. Пацула\***

\*Кафедра «Электрические машины»

Национальный технический университет "Харьковский  
политехнический институт"

ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

*Наведені результати перевірки адекватності графічного методу визначення кінцевої температури нагріву при випробуваннях сучасних асинхронних двигунів*

*Ключові слова: асинхронний двигун, графічний метод, випробування двигуна*

*Представлены результаты проверки адекватности графического метода определения конечной температуры нагрева при испытаниях современных асинхронных двигателей*

*Ключевые слова: асинхронный двигатель, графический метод, испытания двигателя*

*The results of verification of adequacy of graphic method of determination of eventual temperature of heating at the tests of modern asynchronous motors are presented*

*Key words: asynchronous motor, graphic method, tests of motor*

## 1. Введение

Для обеспечения нормальной работы электрической машины температуры нагрева ее активных частей не должны превышать предельно допустимых значений, которые определяются соответствующим классом нагревостойкости системы изоляции используемой в машине [1]. Так как практически все электрические машины имеют систему охлаждения, то для характеристики теплового состояния (нагрева) машины используют не абсолютную температуру нагрева, а превышение (перегрев) абсолютной температуры нагрева частей машины над температурой охлаждающей газообразной среды (чаще всего воздуха). Т.е. это разница между абсолютной температурой активной части машины и температурой охлаждающей среды, которую принимают равной 40°C. Предельно допускаемые превышения температур частей машин над охлаждающей средой регламентируются ГОСТ 183 – 74 [2].

В процессе испытания электрических машин могут проводиться измерения температуры как активных, так и не активных частей машины, которые выполняются в соответствии с ГОСТ 11828 – 86 [3]. Для характеристики теплового состояния машины необходимо знать конечную – установившуюся температуру, т.е. такую, выше которой машина не нагревается при данной нагрузке. Для получения конечной температуры, особенно для машин, работающих в продолжи-

тельном режиме S1, приходится нагружать машину в течение длительного времени. Для закрытых машин, к которым относятся рассматриваемые нами асинхронные двигатели общепромышленного назначения, это время может достигать 10 – 12 часов [4]. Естественно, что подобные испытания приводят к значительным затратам времени и электроэнергии. Поэтому, еще в 30-х годах прошлого столетия, был предложен графический метод определения конечной температуры нагрева машины [4]. Данный метод, используя несложные вычисления и графические построения, позволял сократить время проводимых испытаний в 2 – 3 раза.

Несмотря на то, что графический метод хорошо рекомендовал себя на практике, удешевление электроэнергии и необходимость проведения дополнительных измерений и вычислений, привело к тому, что об этом методе незаслуженно «забыли».

Однако, с того времени уже прошло почти 80 лет, ситуация изменилась. Стоимость электроэнергии растет с каждым годом, к тому же в современных асинхронных двигателях значительно увеличился уровень электромагнитных нагрузок (за счет применения современных систем изоляции, имеющих более высокий класс нагревостойкости). Указанные факторы обуславливают необходимость вспомнить о «забытом» графическом методе. Поэтому была поставлена задача экспериментальной (практической) проверки адекватности графического метода определения конечной

температуры нагрева частей машины применительно к современным асинхронным двигателям серии АИР производства ОАО «ХЭЛЗ»Укрэлектромаш» (г. Харьков).

## 2. Постановка и решение задачи

Для проверки адекватности графического метода нужно выполнить сравнение результатов определения конечной температуры нагрева частей машины графическим (предлагающим сокращенный цикл работы двигателя) и классическим методом – подразумевающим выполнения полного цикла нагрузки двигателя до появления установившейся температуры нагрева машины.

Испытание на нагревание асинхронных двигателей проводится методом непосредственной нагрузки в номинальном режиме, с применением схемы взаимной нагрузки. При испытании на нагревание в асинхронных двигателях проверяют температуру перегрева обмотки статора, т.е. она не должна превышать предельно допустимой (для класса изоляции F) и к тому же обеспечивать определенный запас. Поэтому мы тоже будем определять конечную температуру нагрева обмотки статора, но сначала более подробно рассмотрим сущность сравниваемых методов.

Будем считать классическим – метод сопротивлений, который используется для измерения температуры перегрева обмотки статора асинхронных двигателей в СКБ «ХЭЛЗ»Укрэлектромаш».

Метод сопротивления предназначается для измерения средней температуры изолированных обмоток, к которым может быть подключено измерительное устройство, путем измерения сопротивления этих обмоток в практически холодном и в нагретом состоянии [3]. Само превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха определяется по формуле:

$$\Delta\theta = \frac{R_{\Gamma} - R_x}{R_x} \cdot (235 + \theta_x) + \theta_x - \theta_0, \quad (1)$$

где  $R_{\Gamma}$  – сопротивление обмотки в нагретом состоянии, Ом;

$R_x$  – сопротивление обмотки в практически холодном состоянии, Ом;

$\theta_x$  – температура обмотки в практически холодном состоянии, °С;

$\theta_0$  – температура охлаждающей среды (воздуха), °С.

Измерение сопротивлений в холодном и нагретом состоянии осуществляется методом вольтметра и амперметра, который подробно описан в ГОСТ 11828 – 86 [3].

Сущность графического метода определения конечной температуры нагрева частей машины заключается в следующем: нагружают машину заданной (номинальной) нагрузкой и записывают температуру измеряемой части машины через небольшие промежутки времени (чаще всего это 15 мин.). И продолжают процесс до тех пор, пока резкий темп повышения температуры немного спадет. Исходя из рекомендаций, приведенных в [4], для асинхронных двигателей имеющих закрытое исполнение, этот период равняется четырем часам. Затем по снятым точкам строится зависимость температуры перегрева от времени ее измерения (работы машины), по оси абсцисс откладывается время, а по оси ординат – превышение температуры. В результате точки  $c_1 - c_5$  образуют зависимость, как это показано на рис. 1.

Далее проводятся дополнительные графические построения, а именно:

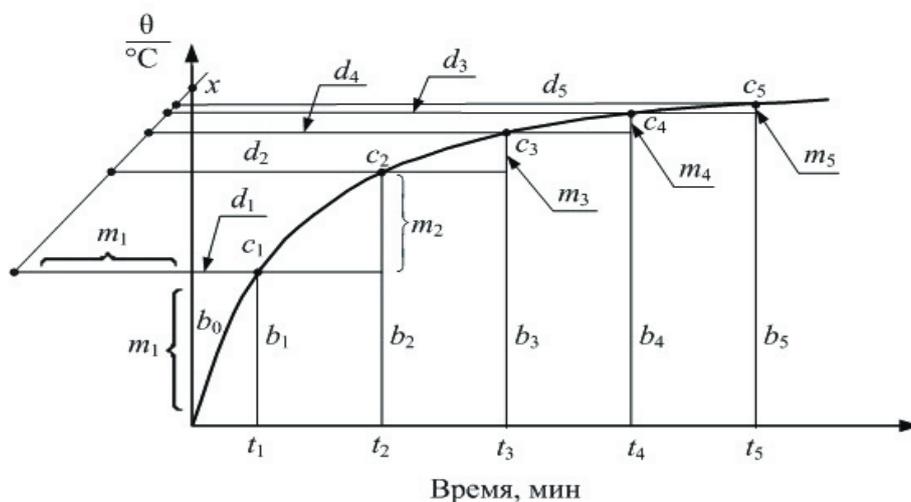


Рис. 1. Графические построения для определения конечной температуры нагрева части машины

1) после построения кривой ось абсцисс делится на 5 – 6 равных частей (на рис. 1 ось поделена на пять частей) и через точки деления проводятся пять вертикальных прямых  $b_1 - b_5$  до пересечения с кривой изменения температуры;

2) через точки пересечения  $c_1 - c_5$  проводятся горизонтальные линии  $d_1 - d_5$  таким образом, чтобы они пересекли ось ординат;

3) затем на каждой линии  $d_1 - d_5$ , влево от оси ординат откладывается соответственное превышение температуры. Так, например, для линии  $d_1$  нужно отложить отрезок  $m_1$ , представляющий собой повышение температуры за промежуток времени от 0 до  $t_1$  (т. е. разница отрезков  $b_0$  и  $b_1$ ), на прямой  $d_2$  нужно отложить отрезок  $m_2$ , а на  $d_3 - m_3$  и т. д.;

4) в результате получается ряд точек, через которые проводится прямая, точка пересечения которой с осью ординат – точка  $x$  даст искомую конечную температуру перегрева.

Как видим, метод достаточно простой и при существующем техническом обеспечении легко позволяет проводить все вычисления и построения с помощью персонального компьютера. Однако нас волнует дру-

гой аспект, а именно возросший уровень электромагнитных нагрузок современных асинхронных двигателей. Так по данным наблюдений на испытательной станции СКБ «ХЭЛЗ»Укрэлектромаш» время работы асинхронного двигателя до достижения им установившейся температуры нагрева не превышает 4 часов. А для двигателей типа АИР80, которые мы будем исследовать, это время составляет 2,5 – 3 часа. Такой разброс во времени зависит от габарита испытываемой машины.

Естественно, что эти особенности необходимо учесть при использовании метода и сократить период измерений, т.е. с учетом изменений времени достижения двигателем установившейся температуры период измерений должен составлять 1,5 – 2 часа.

Так же как и в классическом методе, измерение температуры будем проводить методом сопротивления. Измерение сопротивления обмотки статора в практически холодном состоянии не вызывает проблем, т.е. его можно выполнить тем же самым методом вольтметра и амперметра. Однако, для измерения сопротивления обмотки статора в нагретом состоянии методом вольтметра и амперметра необходимо остановить двигатель и подключить схему измерения. В классическом методе это не вызывает проблем так как измеряется сопротивление уже нагретого двигателя в конце его работы (после достижения установившейся температуры). А в случае использования графического метода такие измерения необходимо выполнять восемь раз, что достаточно трудоемко и вносит соответствующую погрешность в измерения. Поэтому измерение сопротивления обмотки статора в горячем состоянии будем выполнять согласно ГОСТ 27222 – 91 [5], который позволяет проводить измерение сопротивления обмоток машин переменного тока без отключения от сети.

Испытание проходили восемь электродвигателей серии АИР с высотой оси вращения 80 мм производства ОАО «ХЭЛЗ»Укрэлектромаш». Внешний вид электродвигателя типа АИР80В4 показан на рис. 2.



Рис. 2. Асинхронный двигатель типа АИР80В4 на испытательной станции

Для проведения исследований использовалась испытательная станция СКБ «ХЭЛЗ»Укрэлектромаш», которая имеет автоматизированную систему регистрации измерений параметров испытываемых двигателей, которая показана на рис. 3.



Рис. 3. Автоматизированная система регистрации измерений параметров испытываемых асинхронных двигателей

### 3. Анализ результатов расчетов

В табл. 1 приведены результаты определения превышений температуры обмотки статора над температурой воздуха, выполненные классическим и графическим методами. Данные представлены для каждого из восьми двигателей проходивших испытания.

Таблица 1

Тип электродвигателя	Значение превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха $\Delta\theta$ , °С	
	Классический метод	Графический метод
АИР80А2	68,1	70,6
АИР80В2	84,2	87,1
АИР80А4	63,0	65,2
АИР80В4	69,0	71,4
АИР80А6	62,5	64,7
АИР80В6	76,6	78,9
АИР80А8	70,2	72,6
АИР80В8	83,5	86,1

Из табл. 1. видно, что отличие результатов расчета превышений температуры обмотки статора над температурой воздуха классическим методом от графического незначительны и составляют (2,2 – 2,5)°С. При этом графический метод дает более высокие значения температур, чем классический. Это можно объяснить спецификой, как самого метода, так и метода, использованного для измерения сопротивления обмотки статора в горячем состоянии.

### 4. Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Графический метод определения конечной температуры нагрева частей машины может использоваться для проведения испытаний на нагревание современных асинхронных двигателей. Отклонение от классического метода не превышает 2,5°С

2. Современное оборудование испытательных станций электромашиностроительных предприятий по-

зволяет автоматизировать измерение и расчеты, связанные с использованием графического метода.

#### Литература

1. Копылов, И. П. Электрические машины [Текст]: учеб. для вузов / И. П. Копылов; рец. Д. А. Бут. – 3-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2002. – 608с.
2. ГОСТ 183 – 74. Машины электрические вращающиеся. Общие технические условия [Текст]. – Введ. 01.01.76. – М.: Изд-во Стандартов, 1974, – 27 с.
3. ГОСТ 11828 – 86. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний [Текст]. – Введ. 01.07.87. – М.: Изд-во Стандартов, 1986, – 31 с.
4. Лухин, В. Испытание асинхронных двигателей трехфазного тока [Текст] / В. Лухин. – Х.: Изд – во «УКРАЇНСЬКИЙ РОБІТНИК», 1930. – 80с.
5. ГОСТ 27222 – 91. Машины электрические вращающиеся. Измерение сопротивления обмоток машин переменного тока без отключения от сети [Текст]. – Введ. 01.01.92. – М.: Изд-во Стандартов, 1991, – 18 с.

*У статті розглянуті питання, пов'язані з поліпшенням якості гідравлічних розрахунків, можливістю аналізувати, моделювати, прогнозувати гідравлічну ситуацію теплових мереж, підвищення якісного рівня управління за рахунок обґрунтованого прийняття рішень*

*Ключові слова: теплостачання, паспортизація, теплові мережі, споживачі, автоматизація*

*В статье рассмотрены вопросы, связанные с улучшением качества гидравлических расчетов, возможностью анализировать, моделировать, прогнозировать гидравлическую ситуацию тепловых сетей, повышения качественного уровня управления за счет обоснованного принятия решений*

*Ключевые слова: теплоснабжение, паспортизація, тепловые сети, потребители, автоматизация*

*The article deals with issues related to improving the quality of hydraulic calculations, ability to analyze, simulate, predict the hydraulic situation of thermal networks, improving the quality of governance through informed decision-making*

*Key words: heat, certification, heating systems, consumers, automation*

УДК 004.9:912.648

## РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНОЙ ГИС Г.ХАРЬКОВА

**А.А. Евдокимов**

Кандидат технических наук, доцент

Кафедра геоинформационных систем и геодезии

Контактный тел.: (057) 707-33-58

E-mail: akim76@vk.kh.ua

**Ю.В. Новикова**

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ул. Революции, 12, г. Харьков, Украина, 61002

Контактный тел.: 050-304-84-90

E-mail: angel.j14@mail.ru

#### Введение

Система теплоснабжения является одной из важнейших систем жизнеобеспечения крупных городов.

Главной задачей эксплуатации систем теплоснабжения является снабжение теплом жилых, общественных и промышленных зданий и сооружений с целью обеспечения коммунально-бытовых потребностей