УДК 621.313.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ

А. Н. Петренко, начальник расчетного отдела
СКБ «ХЭЛЗ «Укрэлектромаш», г. Харьков
ул. Искринская, 37, 61050, г. Харьков, Украина
Н. А. Осташевский, к.т.н., проф., Н. Я. Петренко, к.т.н., доц., В. П. Шайда, к.т.н., доц.
НТУ "Харьковский политехнический институт"
ул. Фрунзе, 21, 61002, г. Харьков, Украина,
E-mail: viktorshayda08@rambler.ru

Продолжено исследование теплового состояния частотно-управляемого асинхронного двигателя в нестационарных режимах работы. В работе представлены результаты экспериментального исследования теплового состояния двигателя типа АИР90LB4. Результаты проведенных исследований подтвердили адекватность математической модели, разработанной на основе метода эквивалентных тепловых схем.

Ключевые слова: частотно-управляемый асинхронный двигатель, тепловое состояние двигателя, метод эквивалентных тепловых схем, нестационарные режимы работы.

Введение. Для определения теплового состояния асинхронного двигателя (АД) широко используется метод эквивалентных тепловых схем (ЭТС) [1]. Несмотря на то, что погрешность данного метода может составлять (10 – 15) %, он удовлетворяет требованиям поверочного теплового расчета, который используется в практике проектирования асинхронных двигателей.

Однако существующие математические модели, разработанные на базе ЭТС, не учитывают особенности питания асинхронного двигателя от частотного преобразователя и его работу в нестационарных режимах.

Необходимость учета этих факторов объясняется тем, что для частотно-управляемых асинхронных двигателей характерно изменение частоты вращения в широком диапазоне – 1:50, что обуславливает существенное изменение эффективности охлаждения. Кроме того, для этих двигателей характерно возникновение дополнительных электрических и магнитных потерь от действия высших гармоник напряжения. Величина этих потерь и степень их влияния на тепловое состояние асинхронного двигателя в различных режимах работы зависит от формы напряжения, подводимого к двигателю [2]. Поэтому разработка математических моделей, адекватно описывающих тепловое состояние частотно-управляемых асинхронных двигателей, является актуальной задачей.

Анализ предыдущих исследований. В работах [3–5] были начаты исследования теплового состояния частотно-управляемого асинхронного двигателя в нестационарных режимах. В частности, в работе [3] была разработана математическая модель теплового состояния асинхронного двигателя, работающего в нестационарных режимах. В работах [4, 5] с помощью разработанной математической модели проводились исследования различных режимов работы двигателя и схем его питания.

Данная статья является продолжением вышеуказанных работ.

Цель работы. Подтвердить адекватность математической модели теплового состояния частотно-управляемого асинхронного двигателя в нестационарных режимах работы, разработанной на основе метода ЭТС, путем экспериментального исследования теплового поля асинхронного двигателя.

Материал и результаты исследования. В качестве объекта экспериментального исследования был выбран асинхронный двигатель типа АИР90LB4 с номинальными данными: P_N = 2,5 кВт, U_{SN} = 220 В, f_{SN} = 50 Гц, n_N =1430 об/мин, степень защиты IP44, способ охлаждения IC0141.

Экспериментальные исследования теплового состояния исследуемого двигателя проводились на испытательном стенде предприятия СКБ «ХЭЛЗ «Укрэлектромаш» (г. Харьков). Блок-схема испытательного стенда представлена на рис. 1. В соответствии с программой испытаний двигателя блок-схема испытательного стенда модифицировалась для реализации различных схем источников питания.

В качестве базового источника питания был выбран регулируемый источник синусоидального напряжения. Блок-схема этого источника представлена на рис. 2.

Для выбранного типа источника питания реализовывались два наиболее распространенных закона регулирования – закон регулирования при постоянном моменте $\gamma = \alpha$; $M = M_N = const$ $0{,}5 \le \alpha \le 1{,}0$ при регулировании «вниз» и закон регулирования при постоянной полезной мощности и неизменном напряжении $\gamma = 1{,}0 = const$; $P = P_N = const$; $1{,}0 \le \alpha \le 1{,}5$ при регулировании «вверх». Здесь

$$\gamma = \frac{U_S}{U_{SN}}\,;\ \alpha = \frac{f_S}{f_{SN}}\,.$$

Частота питающей сети изменялась в пределах 25–50 Гц за счет изменения частоты вращения приводного двигателя при изменении напряжения U_S в пределах 110 – 220 В за счет индукционного регулятора напряжения.

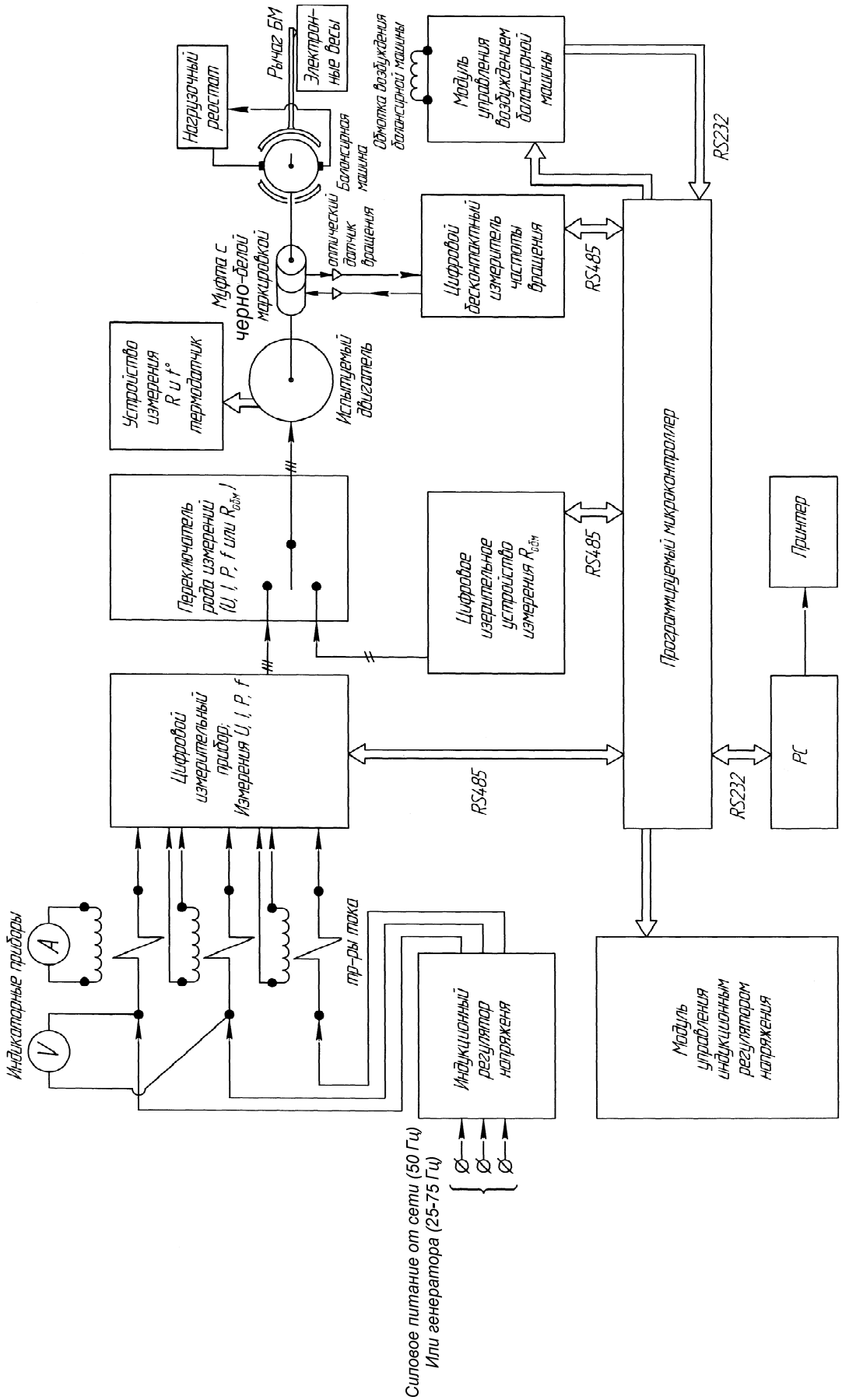


Рисунок 1 – Блок-схема стенда электрических и тепловых испытаний

Для исследования температурного поля двигателя в радиальном и аксиальном сечениях на стадии изготовления двигателя были заложены термодатчики. Схема размещения термодатчиков показана на рис. 3. В качестве термодатчиков использовались терморезисторы СТ-1-19. По длине пакета сердечника статора термодатчики в пазах размещались в трех сечениях: торцевые (на расстоянии 5 мм от торцов со стороны вентилятора и со стороны привода) и центральное, соответствующее середине длины сердечника. Температура в зубцовой зоне и спинке сердечника статора исследовалась с помощью термодатчиков: 25, 5, 14 – размещены в центре «пучка» проводников в пазах; 21, 16, 24 – в нижней части «пучка» проводников, примыкающей к дну пазов; 19, 22, 8 – между пазовыми коробочками и зубцами; 26, 30, 29 – между пазовыми коробочками и спинкой сердечника статора; 10, 17, 9 размещены в гнездах на наружной поверхности сердечника; 4, 18, 6 размещены в гнездах на дне межреберных каналов корпуса; 20, 28 размещены в центре «пучка» проводников в головках лобовых частей; 1, 3, 13, 12 размещены на внутренней поверхности подшипниковых щитов; 23, 36 размещены в гнездах короткозамкнутых колец обмотки ротора; 37 – в радиальном канале в стержне обмотки ротора; 35, 33, 31 – по центру межреберных каналов.

Экспериментальному исследованию теплового состояния двигателя предшествовали расчетные исследования с использованием математической модели, разработанной в [3] на базе ЭТС. Результаты расчета превышений температур для различных участков исследуемого двигателя приведены в табл. 1, там же приведены соответствующие экспериментальные данные.

По данным эксперимента (табл. 1) построены зависимости $\Delta\Theta_i = f(P_N)$ для пазовой и лобовой (наиболее нагретой) частей обмотки статора, сердечника статора и обмотки ротора при питании двигателя синусоидальным напряжением, которые показаны на рис. 4.

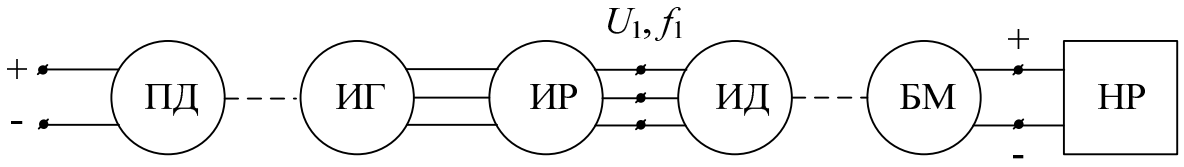


Рисунок 2 – Режим питания синусоидальным напряжением (схема 1)

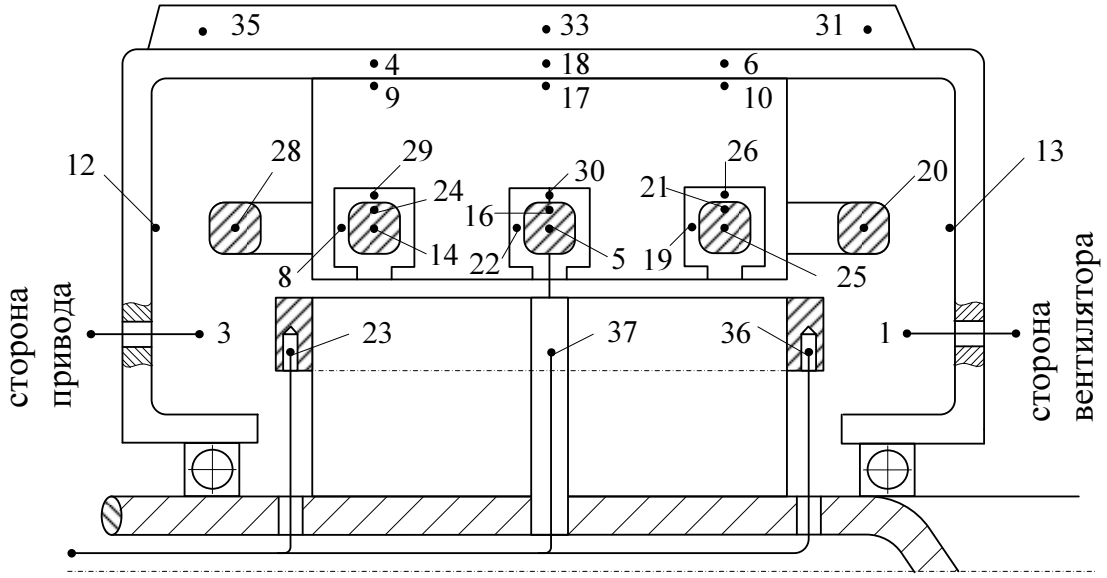
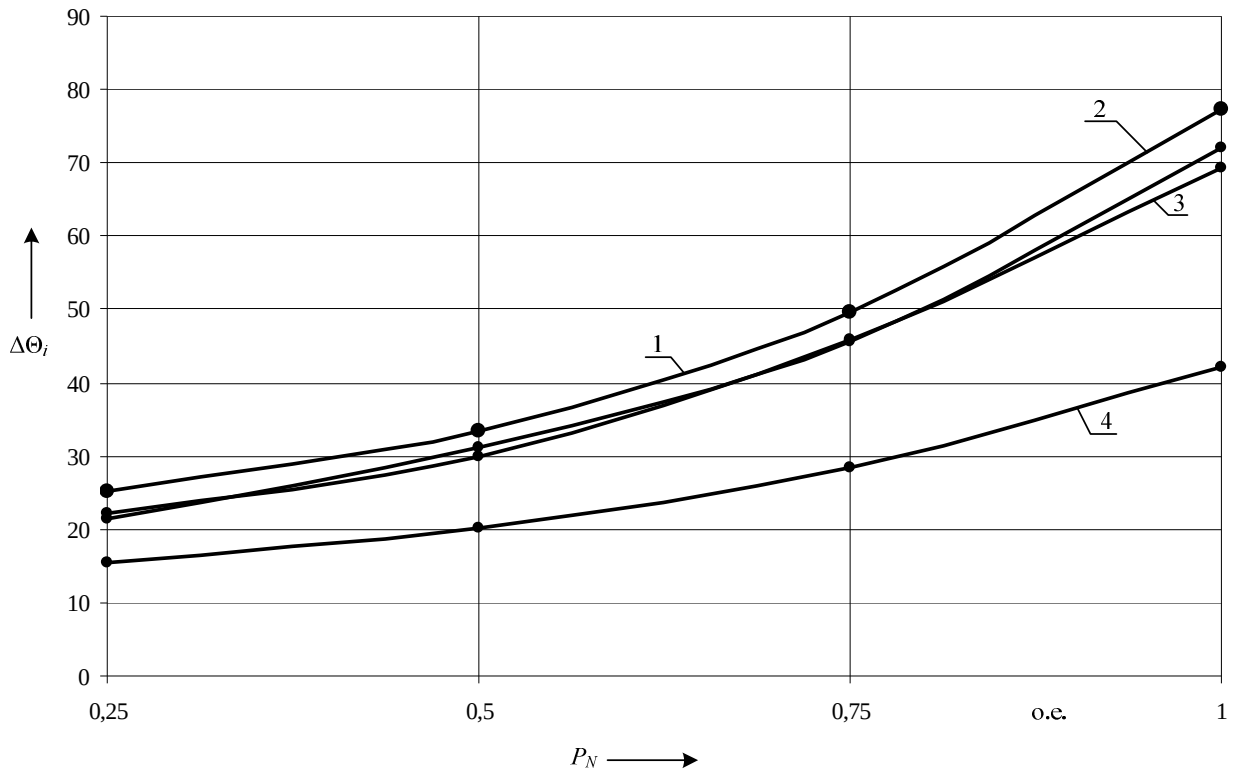


Рисунок 3 – Схема закладки термодатчиков

Таблица 1 – Превышение температур узлов ЭТС в привязке к элементам конструкции двигателя

Область двигателя	Температура в элементах асинхронного двигателя $\Delta\Theta_i$, °С при варьировании P_N, о.е.							
	0,25		0,5		0,75		1,0	
	Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент
Пазовая часть обмотки статора	23,1	22,3	32,1	29,8	46,1	45,8	70,1	69,2
Лобовая часть обмотки статора (вентилятор)	25,1	23,9	34,6	31,5	50,6	48,8	74,3	75,5
Лобовая часть обмотки статора (привод)	26,3	25,1	35,9	33,4	50,9	49,5	76,2	77,2
Сердечник статора	16,2	15,4	23,2	20,2	30,5	28,5	43,0	42,2
Обмотка ротора	18,8	21,5	29,7	31,2	45,1	45,5	73,3	72,1
Внутренний воздух (вентилятор)	16,6	14,2	23,2	20,4	33,3	30,6	49,8	48,3
Внутренний воздух (привод)	18,4	17,2	26,4	23,2	36,2	33,9	55,1	53,2



1 – лобовая часть обмотки статора со стороны привода; 2 – обмотка ротора;
3 – пазовая часть обмотки статора; 4 – сердечник статора
Рисунок 4 – Зависимости $\Delta\Theta_i = f(P_N)$

Выводы. 1. Экспериментально подтверждена адекватность разработанной математической модели теплового состояния частотно-управляемого асинхронного двигателя в нестационарных режимах работы.

2. Установлено, что с увеличением частоты вращения превышение температур существенно уменьшается. Наибольшие перегревы отмечены при $\gamma = \alpha = 0{,}5$; $M = M_N$. В этом режиме уменьшается максимальный момент и жесткость механической характеристики, поэтому $M = M_N$ может быть реа-

лизован при большем относительном скольжении, чем в номинальном режиме. Так, при $\gamma = \alpha = 1{,}0$; $M = M_N$ скольжение $s_N = 0{,}046$, а при $\gamma = \alpha = 0{,}5$; $M = M_N$ скольжение $s_N = 0{,}156$, что приводит к росту электрических потерь в обмотках статора и ротора.

3. Отличия данных расчета и эксперимента в области малых нагрузок, когда перегрев, незначительный по величине, не достигает 10–15 %, в режиме номинальной нагрузки отличие не превышает 2 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петрушин В.С., Якимец А.М. Универсальная тепловая схема замещения асинхронных двигателей // Електромашинобудування та електрообладнання. – 2002. – Вип. 59. – С. 75–79.

2. Захаров А.В., Кобелев А.С. Опыт разработки активных частей краново-металлургических частотно-управляемых асинхронных двигателей // Труды III Междунар. научно-техн. конференции «Электромеханика и электромагнитные преобразователи энергии. – Екатеринбург, 2007. – С. 42–47.

3. Осташевский Н.А., Шайда В.П., Петренко А.Н. Математическая модель теплового состояния частотно-управляемого асинхронного двигателя в нестационарных режимах // Електромашинобудування та електрообладнання. – 2010. – № 75. – С. 46–51.

4. Осташевский Н.А., Шайда В.П., Петренко А.Н. Нагрев частотно-управляемого асинхронного двигателя в перемежающемся режиме // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 3/5 (45). – С. 61–64.

5. Осташевский Н.А., Петренко А.Н. Исследование теплового состояния частотно-управляемого асинхронного двигателя при изменении нагрузки // Электротехника и электромеханика. – 2010. – № 3. – С. 25–29.

Стаття надійшла 01.06.2011 р.
Рекомендовано до друку к.т.н., доц.
Каліновим А.П.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ЧАСТОТНО-КЕРОВАНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА У НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМАХ

О. М. Петренко, начальник розрахункового відділу
СКБ «ХЭЛЗ «Укрелектромаш», м. Харків
вул. Іскринська, 37, 61050, м. Харків, Україна
Н. А. Осташевський, к.т.н., проф., М. Я. Петренко, к.т.н., доц., В. П. Шайда, к.т.н., доц.
НТУ "Харківський політехнічний інститут"
вул. Фрунзе, 21, 61002, м. Харків, Україна
E-mail: viktorshayda08@rambler.ru

Продовжено дослідження теплового стану частотно-керованого асинхронного двигуна в нестаціонарних режимах роботи. У роботі представлені результати експериментального дослідження теплового стану двигуна типу АИР90 LB4. Результати проведених досліджень підтвердили адекватність математичної моделі, розробленої на основі методу еквівалентних теплових схем.

Ключові слова: частотно-керований асинхронний двигун, тепловий стан двигуна, метод еквівалентних теплових схем, нестаціонарні режими роботи.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE THERMAL STATE FREQUENCY-GUIDED ASYNCHRONOUS MOTOR IN NON-STATIONARY MODES

A. Petrenko, chief of calculation department
PJSC «Kharkov Electrical Engineering Plant "Ukrelectromash"» (HELZ Company), Kharkov
vul. Iskrinska, 7, 61050, Kharkov, Ukraine
N. Ostashevskyi, Cand.Sc. (Eng.), Prof., N. Petrenko, Cand.Sc. (Eng.), Assoc. Prof.,
V. Shayda, Cand.Sc. (Eng.), Assoc. Prof.
NTU "Kharkov Politechnical Institute"
vul. Frunze, 21, 61002, Kharkov, Ukraine

Research of the thermal state of the frequency-guided asynchronous motor in non-stationary duty is continued. The results of experimental research of the thermal state of motor of type АИР90LB4 are in-process presented. The results of the conducted researches confirmed adequacy of mathematical model worked out on the basis of method of equivalent thermal charts.

Key words: the frequency-guided asynchronous motor, thermal state of motor, method of equivalent thermal charts, non-stationary duty.