

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДОБЫЧИ НЕФТИ

В. В. Аникин¹, В. З. Ковалев², Р. Н. Хамитов³, В. О. Бессонов²

¹Нижевартовский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия

²Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

³Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. Надежное и энергосберегающее частотное управление погружными асинхронными электродвигателями требует исследование его работы в составе электротехнических комплексов установок электроцентробежных насосов на базе моделирования. Данный подход ориентирован на разработку методов идентификации параметров его схем замещения по экспериментальным данным. Целью исследования являлось исследование работы погружных асинхронных электродвигателей в составе электротехнических комплексов установок электроцентробежных насосов. Рассмотрен способ определения эксплуатационных параметров и построения рабочих характеристик погружных асинхронных электродвигателей на основе параметров его Т-образной схемы замещения. На базе рассмотренного способа разработано программное обеспечение в системе Matlab 7, предназначенное для расчета параметров двигателей и построения семейства его рабочих характеристик.

Ключевые слова: погружной асинхронный электродвигатель, схема замещения, программное обеспечение, эксплуатационные параметры, рабочие характеристики.

DOI: 10.25206/2310-4597-2019-1-24-28

I. ВВЕДЕНИЕ

В нефтедобывающей отрасли самым распространённым электродвигателем является трехфазный погружной асинхронный двигатель с частотным регулированием. Асинхронные двигатели являются самыми надежными при эксплуатации в условиях высоких температур и агрессивной среде нефтяного месторождения, по сравнению с электродвигателем других типов [1].

Необходимость в предэксплуатационной идентификации параметров схем замещения погружного электродвигателя (ПЭД) возникает при частотном и векторном регулировании скорости вращения и электромагнитного момента ПЭД для организации надежных и оптимальных режимов эксплуатации в составе электротехнических комплексов (ЭТК) установок электроцентробежных насосов (УЭЦН).

Методы идентификации, связанные с вращением ПЭД на поверхности, требуют для своей реализации использования совместимого с конструкцией ПЭД оборудования, заменяющего реальную нагрузку на валу в виде УЭЦН, либо наличия дорогостоящих специализированных стендов для приемо-сдаточных испытаний, которыми оснащаются заводы-изготовители ПЭД. Однако имеется возможность усовершенствования подхода на базе методик параметрической идентификации непосредственно по кривой затухания тока обмотки статора, не требующих трудоемкого и сложного дополнительного перехода к частотным характеристикам. Модели послеремонтных ПЭД позволяют оценить технические состояния ПЭД и его возможности для продолжения работы в составе ЭТК УЭЦН.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Особую актуальность приобретает задача оценки изменённого технического состояния погружных асинхронных электродвигателей прошедших капитальный или средний ремонт в сервисных предприятиях по ремонту нефтепогружного оборудования [2]. Рабочие характеристики послеремонтных асинхронных электродвигателей могут значительно отличаться от характеристик нового двигателя, что может привести к отклонению параметров технологического процесса нефтедобычи.

III. ТЕОРИЯ

Для получения рабочих характеристик асинхронного двигателя используем его схему замещения для одной фазы, на рис. 1 показана Т-образная схема замещения [3, 4].

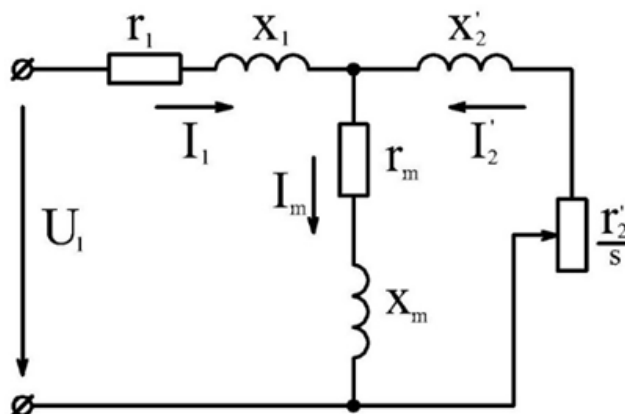


Рис. 1. Т-образная схема замещения 1-ой фазы ПЭД

По схеме замещения r_1, r_2', r_m – активные сопротивления фаз статора, ротора и ветви намагничивания, x_1, x_2', x_m – индуктивные сопротивления рассеяния статора, ротора и ветви намагничивания.

Определение рабочих характеристик через параметры Т-образной схемы замещения в зависимости от скольжения можно свести к последовательному применению следующих расчетных соотношений [5].

Полное сопротивление Т-образной схемы замещения ПЭД

$$\dot{z} = r_1 + jx_1 + \frac{(r_m + jx_m) \cdot \left(\frac{r_2'}{s} + jx_2'\right)}{(r_m + jx_m) + \left(\frac{r_2'}{s} + jx_2'\right)}, \quad (1)$$

Ток в обмотке статора ПЭД

$$I_1 = \frac{\dot{U}_1}{\sqrt{3} \cdot \dot{z}}, \quad (2)$$

Приведенное падение напряжения в обмотке ротора ПЭД

$$\dot{U}_2 = I_1 \cdot \frac{(x_m + jx_m) \cdot \left(\frac{r_2'}{s} + jx_2'\right)}{(r_m + jx_m) + \left(\frac{r_2'}{s} + jx_2'\right)}, \quad (3)$$

Приведенный ток в обмотке ротора ПЭД

$$I_2 = \frac{\dot{U}_2}{\frac{r_2'}{s} + jx_2'}. \quad (4)$$

Выходная мощность ПЭД

$$P_2 = m_1 \cdot |I_2'|^2 \cdot \frac{r_2'}{s} \cdot (1 - s), \quad (5)$$

где m_1 – число фаз.

Вращающий момент на валу ПЭД

$$M_2 = \frac{m_1 p}{\omega_1} \cdot |I_2'|^2 \cdot \frac{r_2'}{s} \cdot (1 - s), \quad (6)$$

где p – число пар полюсов.

Потери мощности в обмотке ротора ПЭД

$$\Delta P_2 = m_1 \cdot |I_2'|^2 \cdot r_2' \quad (7)$$

Ток в ветви намагничивания ПЭД

$$I_m = \frac{\dot{U}_2}{r_m + jx_m} \quad (8)$$

Суммарные потери мощности в ПЭД

$$P = m_1 \cdot |I_1|^2 \cdot r_1 + m_1 \cdot |I_m|^2 \cdot r_m + m_1 \cdot |I_2'|^2 \cdot r_2' \quad (9)$$

Коэффициент полезного действия ПЭД

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \quad (10)$$

Реактивная мощность ПЭД

$$Q = m_1 \cdot |I_1|^2 \cdot x_1 + m_1 \cdot |I_m|^2 \cdot x_m + m_1 \cdot |I_2'|^2 \cdot x_2' \quad (11)$$

Полная мощность ПЭД

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (12)$$

Коэффициент мощности ПЭД

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (13)$$

Критическое скольжение

$$s_{кр} = \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad (14)$$

Пусковой момент

$$M_{п} = \frac{2M_{кр} \cdot (1 + s_{кр} \cdot \frac{r_1}{r_2'})}{s_{кр} + \frac{1}{s_{кр}} + s_{кр} \cdot \frac{2r_1}{r_2'}} \quad (15)$$

Подстановка в формулы 1...13 величин скольжений номинального s_n , критического $s_{кр}$, пускового $s = 1$ режимов и режима идеального холостого хода $s = 0$ позволяет получить значения параметров ПЭД, относящихся к данным условиям их эксплуатации. На основе формул 1...15 разработана программа SZ_MH11 для оперативного определения эксплуатационных параметров ПЭД, реализованная в системе Matlab 7 [6].

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Панель управления программой (рис. 2) имеет интерфейс удобный для использования в цеховых условиях предприятий по ремонту погружных асинхронных электродвигателей. Исходные данные для программы SZ_MH11 – параметры Т-образной схемы замещения ПЭД (x_1, x_2' – индуктивные сопротивления рассеяния обмотки статора и приведенной обмотки ротора, x_m – индуктивное сопротивление ветви намагничивания), величина U_n и частота f напряжения, подводимого к обмотке статора ПЭД, число фаз ПЭД m_1 , номинальное значение скольжения s_n и число пар полюсов $2p$ – заносятся пользователем в соответствующие окна панели управления.

Кнопкой «Расчет» после ввода исходных данных рассчитываются каталожные данные и выводятся на панель (рис. 2а). Кнопка «некоторые параметры и коэффициенты» служит для вывода на панель управления SZ_MH11 сведений о параметрах ПЭД в режимах пуска и идеального холостого хода (рис. 2б). При нажатии кнопки «дополнительные возможности» выводятся рабочие характеристики двигателя (рис. 2в).

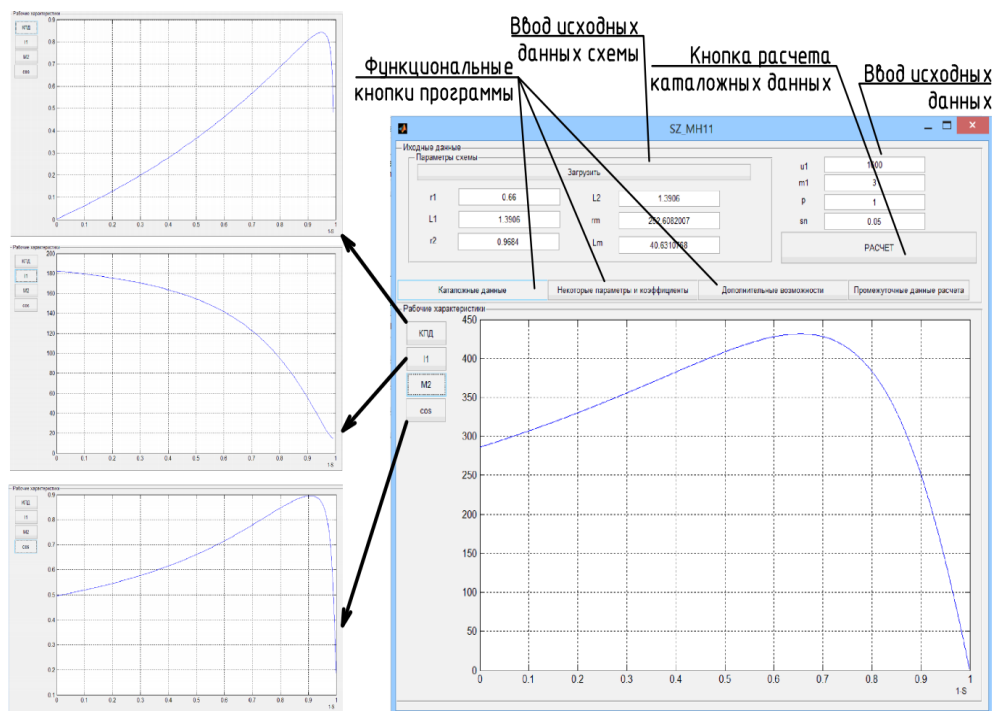


Рис. 2. Панель управления (интерфейс) программы SZ_MH11

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты, представленные на рис. 2, получены для ПЭД типа ЭД(Т)12-117-380 на основании идентификационных параметров Т-образной схемы замещения. Эти результаты, а также данные по определению каталожных параметров ПЭД типов 1ЭД(Т)45-117-1000, 1ЭД(Т)63-117-1000 на основе идентификации параметров их схем замещения приведены в табл. 1 вместе с известными каталожными параметрами этих ПЭД. Там же указаны отклонения полученных параметров ПЭД от номинальных значений. Данные, приведенные в таблице, свидетельствуют о следующем. Эксплуатационные параметры рассматриваемых типов ПЭД получены средствами программы SZ_MH11 на основе параметров их схем замещения. Наблюдаются положительные и отрицательные отклонения полученных эксплуатационных параметров от их номинальных значений [7].

Наименьшие отклонения имеют энергетические параметры ПЭД – коэффициент полезного действия η и коэффициент мощности $\cos\phi$ (не более -2% у обоих). Наибольшее отклонение, достигающее значения (-9,67%), имеет входной ток ПЭД.

ТАБЛИЦА 1
РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЭД

Двигатель	Эксплуатационные параметры погружных асинхронных двигателей								
	I_1, A	$P_2, кВт$	$\eta, \%$	$\cos\phi, о.е.$	$n_2, об/мин$	$M_n/M_H, о.е.$	$M_{кр}/M_H, о.е.$	$I_n/I_{нб}, о.е.$	
<i>ЭД(Т) 12-117-380</i>									
$I_0 10,5 A$	<i>Изв.</i>	26	12	84	0,85	2850	-	-	-
	<i>Получ.</i>	25,31	11,122	84,432	0,858	2850	2,250	3,100	5,783
	<i>Расхожд.,%</i>	-2,65	-7,33	0,51	0,94	0	-	-	-
<i>ЭД(Т) 45-117-1000</i>									
$I_0 18 A$	<i>Изв.</i>	36,5	45	85	0,86	2850	-	-	-
	<i>Получ.</i>	34,14	43,926	83,538	0,858	2850	2,023	3,073	5,399
	<i>Расхожд.,%</i>	-6,46	-2,38	-1,72	-0,23	0	-	-	-
<i>ЭД(Т) 63-117-1000</i>									
$I_0 24 A$	<i>Изв.</i>	51,5	63	85	0,85	2844	-	-	-
	<i>Получ.</i>	46,53	65,203	85,500	0,864	2844	2,082	3,045	5,577
	<i>Расхожд.,%</i>	-9,67	3,38	0,58	1,64	0	-	-	-

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты расчёта показывают достаточную степень точности программы SZ_MH11, и определяет возможность и целесообразность ее применения на предприятиях по ремонту погружного электрооборудования для определения измененного технического состояния ПЭД послеремонтного обслуживания и контроля его эксплуатационных параметров [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалев А. Ю., Ковалев Ю. З., Солодянкин А. С. Электротехнологические установки насосной эксплуатации скважин : моногр. Нижневартовск : изд-во НГТУ, 2010. 173 с.
2. Кузнецов Е. М., Ковалев А. Ю., Аникин В. В. Послеремонтное определение эквивалентных параметров асинхронного электродвигателя без применения нагрузочного устройства – электродвигатель с короткозамкнутым ротором // Омский научный вестник. 2017. № 6 (156). С. 76–79.
3. Ковалев А. Ю., Кузнецов Е. М., Аникин В. В. Установка для определения параметров схем замещения асинхронных электродвигателей // Приборы и техника эксперимента. 2010. № 3. С. 162.
4. Вольдек А. И., Попов В. В. Электрические машины. Машины переменного тока: учебник для вузов. СПб.: Питер, 2010. 543 с.
5. Кетков Ю. Л., Кетков А. Ю., Шульц М. М. MATLAB 7: программирование, численные методы. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 737 с.
6. Аникин В. В., Кузнецов Е. М., Ковалев А. Ю. Программное обеспечение для расчета параметров схемы замещения асинхронного погружного электродвигателя: программа для ЭВМ. М. : ФИПС, 2012. № 2012661262.
7. Электродвигатели погружные асинхронные теплостойкие. Технические условия ТУ3381-026-21945400-97. Введ. 20.01.1998. 179 с.
8. Ковалев В. З., Хамитов Р. Н., Кузнецов Е. М., Аникин В. В., Бессонов В. О. Определение эксплуатационных параметров погружных асинхронных электродвигателей по идентификационным параметрам Т-образной схемы замещения // Омский научный вестник. 2018. № 6(162). С. 36–40.

УДК 621.314.261

УСТАНОВКА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ ПОГРУЖНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В. В. Аникин

Нижневартовский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия

Аннотация. Частотное управление погружными асинхронными электродвигателями требует исследование его работы в составе электротехнических комплексов установок электроцентробежных насосов на базе моделирования. Данный подход ориентирован на разработку методов идентификации параметров его схем замещения по экспериментальным данным. Целью разработки являлось создание установки для регистрации и обработки экспериментальной кривой затухания тока статора погружного асинхронного двигателя. Приводится описание конструкции и принципа действия установки для регистрации и обработки кривой затухания тока статора погружного асинхронного двигателя. Установка позволяет реализовать методику для определения параметров Т-образной схемы замещения погружных асинхронных электродвигателей с использованием интеграла кривой затухания тока обмотки статора без дополнительного перехода к частотным характеристикам. Мобильная установка способна достоверно регистрировать в электротехнических объектах с индуктивной реакцией переходные процессы затухания тока в диапазоне от 1А до 15А с относительной погрешностью не более 2% и в диапазоне тока от 1А до 0,1А с относительной погрешностью не более 6% при длительности переходных процессов от 0,07 с.

Ключевые слова: *стенд, испытания, схема, переходная характеристика, погрешность.*

DOI: 10.25206/2310-4597-2019-1-28-33

I. ВВЕДЕНИЕ

Надежное и энергосберегающее частотное управление погружными асинхронными электродвигателями (ПЭД) требует исследование его работы в составе электротехнических комплексов (ЭТК) установок электроцентробежных насосов (УЭЦН). Этот подход ориентирован на разработку методов идентификации параметров его схем замещения по экспериментальным данным. Информация о состоянии ПЭД особа актуальна для сер-