

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ НАТЯЖЕНИЯ ОБМОТОЧНОГО ПРОВОДА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОБМОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Тарасенков Д.А.

Ключевые слова: электрическая машина, обмотка электрической машины, обмоточный провод, сопротивление провода.

Аннотация. В работе проводится исследование влияния усилия натяжения обмоточного провода на величину погрешности сопротивления провода при намотке обмотки электрической машины. Экспериментально установлена рекомендуемая оптимальная величина натяжения провода при изготовлении обмотки статора двигателя синхронного многополюсного ДСМ-0,18-500-1-Д-У2 IM3681 IC40 220V TU 27.11-002-10839399-2017.

DETERMINATION OF THE OPTIMAL VALUE OF THE TENSION OF THE WINDING WIRE IN THE MANUFACTURE OF THE WINDING OF AN ELECTRIC MACHINE

Tarasenkov D.A.

Keywords: electrical machine, electrical machine winding, winding wire, conductor resistance.

Abstract. In this paper we study the influence of the tension force of the winding wire on the value of the error of resistance of the wire when winding an electric machine. The recommended optimum value of the tension of the wire was experimentally established in the manufacture of the stator winding of the synchronous multi-pole motor DSM-0.18-500-1-D-U2 IM3681 IC40 220V TU 27.11-002-10839399-2017.

При разработке технологических процессов изготовления обмоток электрических машин (в частности, электрических двигателей) учитывается влияние различных факторов на точность получения выходных параметров намоточного изделия. Для обоснованного назначения допусков и увязки их с технологией изготовления обмоток необходимо изучить возможные отклонения параметров исходных материалов и деталей; погрешности, вносимые в процессе намотки, и причины их появления [1]. Отклонения характеристик обмоточных проводов лимитированы в ГОСТ [2]. В процессе намотки провод испытывает различные воздействия, и его начальные характеристики претерпевают изменения.

Наматывание провода на каркас производится с некоторым натяжением. Оптимальная величина натяжения для каждого вида намоточных проводов зависит от вида обмотки и предельно допустимой величины натяжения для данного провода. Чрезмерное натяжение повлечет за собой удлинение провода, изменение его сопротивления и повреждение изоляции. Недостаточное натяжение вызовет погрешность формы, уменьшение коэффициента заполнения обмоток и, как следствие, повлияет на качественные характеристики намоточного изделия [3].

Таким образом, **целью работы** является определение оптимального усилия натяжения провода при намотке статора двигателя синхронного

многополюсного серии ДСМ-0,18-500-1-Д-У2 IM3681 IC40 220В ТУ 27.11-002-10839399-2017.

Исходные данные ДСМ-0,18-500-1-Д-У2 IM3681 IC40 220В ТУ 27.11-002-10839399-2017: применяется рядовая многослойная обмотка; используется провод ПЭТД-180-0,355 ТУ16-705.264-82; количество витков в катушке – 200 шт; количество катушек – 18 шт; активное сопротивление фазы – 16,80 Ом; фазный ток – 1,1 А; допустимое отклонение от номинального активного сопротивления фазы – 10%; разница межфазного активного сопротивления не должна превышать 5%.

В ходе эксперимента проведём измерения сопротивления провода при постепенном увеличении усилия натяжения (измеряем падение напряжения на проводе, сопротивление находим по закону Ома) в соответствии со схемой, представленной на рисунке 1.

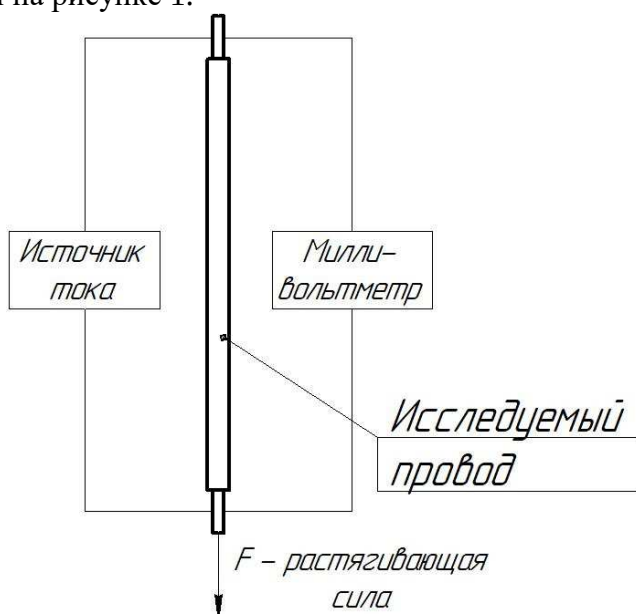


Рис. 1. Схема эксперимента

Инструмент, используемый в работе, следующий.

1. Двухканальный милливольтметр АКТАКОМ АВМ-1164. Используется для измерения напряжения (падения напряжения) на исследуемом проводе.

2. Источник питания импульсный SPS-3610. Используется для подачи установленной с заданной точностью величины тока на исследуемый провод.

3. Скоба рычажная СР-25 ГОСТ 11098-75. Используется для измерения диаметра провода.

4. Штатив. Используется для закрепления провода.

5. Набор грузов. Используется для придания усилия натяжения.

Увеличение нагрузки будем производить плавно, исключив действие ударных нагрузок на образец. Ток по образцу в процессе измерений

пропускаем кратковременно, не допуская разогрева провода. Величина силы тока выбрана малой (3 А) для предотвращения потенциального разогрева провода и внесения дополнительных погрешностей. Результаты измерения сведём в таблицу 1.

Табл. 1. Результаты эксперимента

№	$m, \text{кг}$	$F, \text{Н}$	$I, \text{А}$	$U, \text{В}$	$R, \text{Ом}$	$\delta R, \%$
1	0	0	3	0,5274	0,1758	0
2	0,1	1		0,5277	0,1759	0,056
3	0,2	2		0,5283	0,1761	0,171
4	0,3	3		0,5265	0,1765	0,398
5	0,4	4		0,5301	0,1767	0,512
6	0,5	5		0,531	0,1770	0,683
7	0,6	6		0,5325	0,1775	0,967
8	0,7	7		0,5337	0,1779	1,195
9	0,8	8		0,5355	0,1785	1,536
10	0,9	9		0,537	0,1790	1,820
11	1	10		0,5391	0,1797	2,218
12	1,1	11		0,5427	0,1809	2,901

Расчёт величины R произведён по закону Ома.

Испытания проводились при температуре окружающей среды, равной 20°C на протяжении короткого промежутка времени, что исключает необходимость введения поправочного коэффициента, призванного нивелировать отклонения температуры от нормальных условий.

Изменение сопротивления провода будет равно:

$$\delta R = \left| \frac{R_0 - R}{R_0} \right| \cdot 100\%, \quad (1)$$

где R_0 – первоначальное сопротивление провода при отсутствии растягивающих усилий, Ом; R – сопротивление провода, подвергнутого нагрузке в виде определённого натяжения, Ом.

Расчёт величины δR произведён согласно формуле (1).

График изменения относительных значений сопротивления в зависимости от усилия натяжения изображён на рисунке 2.

Необходимо отметить, что натяжение провода при намотке, найденное по эмпирической формуле (расчётное), равно:

$$F_p = 8,5 \cdot 10 \cdot d^2 = 85 \cdot 0,355^2 = 10,71 \text{ Н},$$

где d – номинальный диаметр провода, мм.

Опытным путём установлено, что длина провода в одной фазе составляет 94,8 м, что также можно подтвердить вычислением:

$$l_\phi = \frac{R \cdot S}{\rho} = \frac{16,8 \cdot 0,09898}{0,01754} = 94,8 \text{ м},$$

где R – активное сопротивление фазы, Ом ; S – площадь поперечного сечения провода, мм^2 ; ρ – удельное сопротивление меди, $0,01754 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$.

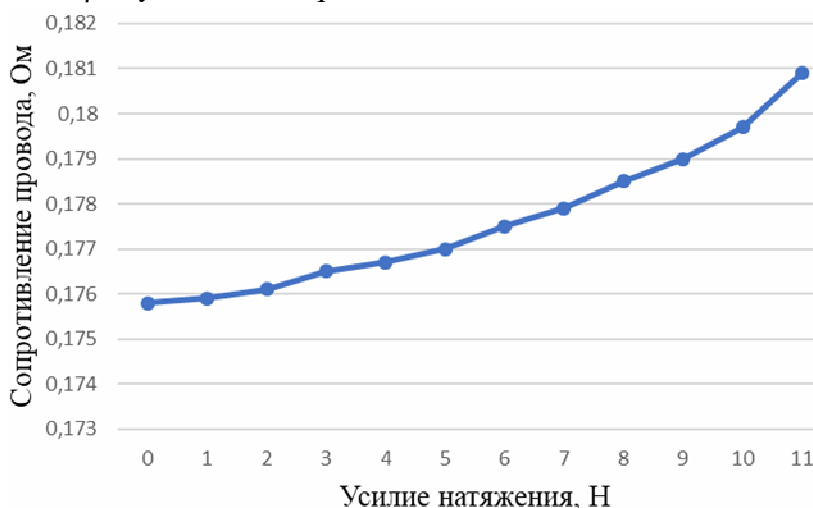


Рис. 2. График экспериментальной зависимости сопротивления провода от усилия натяжения

Тогда расчётное оптимальное значения сопротивления одного метра провода составляет:

$$R = \frac{R_{\phi}}{l_{\phi}} = \frac{16,8}{94,8} = 0,1772 \text{ Ом}.$$

Из приведённых измерений видно, что оптимальная величина усилия натяжения провода лежит между 5 Н и 6 Н. В связи с этим проведём измерения с меньшими колебаниями усилия натяжения. Результаты сведём в таблицу 2.

Табл. 2. Уточнённые результаты эксперимента

№	$m, \text{кг}$	$F, \text{Н}$	$I, \text{А}$	$U, \text{В}$	$R_H, \text{Ом}$	$\delta R_H, \%$
1	0,52	5,2	3	0,5310	0,1770	0,683
2	0,54	5,4		0,5313	0,1771	0,739
3	0,56	5,6		0,5316	0,1772	0,796
4	0,58	5,8		0,5322	0,1774	0,91

Вывод: оптимальная величина натяжения провода ПЭТД-180-0,355 ТУ16-705.264-82 при намотке обмотки статора ДСМ-0,18-500-1-Д-У2 ИМ3681 IC40 220В ТУ 27.11-002-10839399-2017 составляет 5,6 Н.

Список литературы

1. Попков В.М., Тарасенков Д.А. Исследование влияния усилия натяжения обмоточного провода на электромагнитные характеристики при изготовлении обмоток электрических машин // Электронный журнал:

наука, техника и образование. 2020. №1 (28). С. 13-18. URL: <http://nto-journal.ru/uploads/articles/8f9b0967a9eb5461005cc0e574422a9e.pdf>

2. Гольдберг О.Д. Электромеханика: учебник для студ. высш. учеб. Заведений / О.Д. Гольдберг, С.П. Хелемская; под ред. О.Д. Гольдберга. – 2-е изд. испр. – М.: Изд. центр «Академия», 2010. – 512 с.
3. Копылов И.П. Проектирование электрических машин в 2 ч. Часть 1: учебник для академического бакалавриата. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2018. – 490 с.

References

1. Popkov V.M., Tarasenkova D.A. Investigation of the influence of the tension force of the winding wire on electromagnetic characteristics in the manufacture of windings of electric machine // Electronic Journal: science, tech and education. 2020. №1 (28). С. 13-18. URL: <http://nto-journal.ru/uploads/articles/8f9b0967a9eb5461005cc0e574422a9e.pdf>
2. Goldberg O.D. Electrical engineering: textbook for higher education/ O.D. Goldberg, S.P. Helemskaya; under the editorship by O.D. Goldberg. – 2-nd pub. corr. – M.: Publ. house «Academy», 2010. – 512 p.
3. Kopilov I.P. Electrical machine design in 2 t. Tome 1: textbook for academic undergraduate. – 4-th pub. – M.: Publ. house Uright, 2018. – 490 p.

Тарасенков Денис Александрович – студент, Калужский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия, tarasenkov.denis22@gmail.com	Tarasenkova Denis Aleksandrovich – student, Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russia, tarasenkov.denis22@gmail.com
---	--

Received 26.05.2020