

УДК 621.313.22

М.А.Бехтерев (6 курс, каф. ЭМ), В.А.Изотов, к.т.н., в.н.с.

## РАЗРАБОТКА ГРЕБНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА МОЩНОСТЬЮ 10 МВТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОТЕПЛОПРОВОДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Гребные электродвигатели для морских судов (морских паромов, ледоколов и т. д.), совершающих различные манёвры, должны обеспечивать хорошие регулировочные свойства, большие перегрузочные, пусковые и тормозные моменты. Кроме того требования к повышению мощности в единичном исполнении, а также к надёжности и эффективности их работы постоянно растут. Однако с увеличением мощности гребных электродвигателей растёт также и реактивная ЭДС  $E_r$ , возрастает уровень напряжений между смежными коллекторными пластинами  $u_{к.ср}$  [1]. Применение беспазовой конструкции якоря позволяет существенно снизить (в 2...3 раза) величину реактивной ЭДС  $E_r$ , ослабить влияние реакции якоря и таким образом улучшить потенциальные условия на коллекторе [2].

В процессе разработки гребного электродвигателя мощностью 10 МВт было рассмотрено несколько вариантов с различным числом ходов  $m$ , числом пар полюсов  $p$ , диаметром сердечника якоря  $D_a$ . Для беспазового гребного электродвигателя целесообразно использование однослойной многоходовой петлевой обмотки с  $m > 2$ , т. к. при этом достигается снижение величины немагнитного зазора  $\delta_0$ , уменьшение тока параллельной ветви  $i_a = I_a / 2a$  и, следовательно, размеров проводников обмотки якоря, что также способствует уменьшению  $\delta_0$  и величины добавочных потерь  $P_{да}$ . В табл. 1 представлены результаты проведённых электромагнитных расчётов и оценки теплового состояния вариантов электродвигателей.

Таблица 1. Основные технические данные электродвигателей.

№	Наименование	Обозначение	Варианты				Размерность
			1	2	3	4	
1	Полезная мощность	$P_2$	10	10	10	10	МВт
2	Диаметр якоря	$D_a$	1,8	2,15	2,15	1,95	м
3	Напряжение	$U$	950	950	950	1200	В
4	Число полюсов	$2p$	10	10	12	10	--
5	Длина якоря	$l_a$	2,6	2	2	2	м
6	Число ходов обмотки якоря	$m$	5	5	5	4	--
7	Реактивная ЭДС	$E_r$	2,15	2,77	2,255	2,48	В
8	Небалансная ЭДС	$\Delta E_m$	0,85	0,6	0,85	3,07	В
9	Среднее напряжение между коллекторными пластинами	$U_{к.ср}$	12,8	10,8	12,8	14,03	В
10	КПД	$\eta$	91,67	93,02	93,7	94	%
11	Масса меди	$G_{cu}$	848	905	1034	1598	кг
12	Сумма потерь	$P$	643500	737447	689633	664000	Вт
13	Перегрев меди	$Q_{cu}$	114	125	120	116	"С
14	Перегрев стали	$Q_{fe}$	82	85	100	90	"С

Сопоставление расчетных данных вариантов гребного электродвигателя показывает, что из первых трех вариантов, выполняемых с пятиходовой обмоткой якоря со ступенчатым

исполнением секций, наиболее напряженным в коммутационном отношении является второй вариант, причем по потенциальным условиям на коллекторе и величине небалансной ЭДС он является лучшим. Вариант электродвигателя с четырёхходовой обмоткой имеет наиболее высокое значение КПД, технологически простое конструктивное исполнение секций якоря, но неприемлем по величине  $\Delta E_m$ , превышающей допустимое значение  $\Delta E_{md}=1,8$  В, поэтому в качестве основного варианта принят вариант 3.

Так как использование радиальной системы вентиляции для рассматриваемого гребного электродвигателя с однослойной обмоткой якоря не представляется возможным, поэтому с целью решения задач отвода потерь в якоре была применена аксиальная вентиляция в сочетании с высокотеплопроводными изоляционными материалами. В табл. 2 приведены значения коэффициентов теплопроводности  $\lambda$  некоторых диэлектрических материалов, используемых в качестве наполнителей.

Таблица 2

№	Наименование	Обозначение	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$\rho_v$ , Ом·м
1	Оксид алюминия	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25...40	-
2	Нитрид алюминия	AlN	150	10 <sup>11</sup> ...10 <sup>12</sup>
3	Оксид бериллия	BeO	370	10 <sup>14</sup> ...10 <sup>16</sup>
4	Нитрид бора	BN (гексагональный)	40...120	-
5	Карбид кремния	SiC	25...100	-
6	Оксид магния	MgO	25...50	-

Так, было рассмотрено применение композиционного состава на основе нитрида алюминия в виде слоя толщиной 10 мкм, наносимого на стеклоленту. Например, в [3] для этих целей предложен композиционный материал, состоящий из эпоксидного компаунда КП-47 (30 %) и измельченного наполнителя (ALN) с размерами частиц 120, 45 и 17 мкм (70 %). Выполнены расчеты нагрева обмотки якоря с использованием результирующих коэффициентов теплопроводности  $\lambda_p=0,8...1,25$  Вт/(м·К) [4] показали, что температура обмотки якоря может быть снижена на 30 %.

Таким образом, полученные результаты проведенных расчетных исследований позволяют сделать вывод о возможности создания беспазовых гребных электродвигателей с однослойной обмоткой якоря с числом ходов  $m>2$  в одноякорном исполнении мощностью 10...20 МВт.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Миничев В.М., Ульянов Г.И., Фетисов В.В. Электротехника.- 1993, №3.- С. 2-5
2. Бочаров В.И. Беспазовые тяговые электродвигатели постоянного тока. – М.: Энергия, 1976.- 192 с.
3. Пульников А.А., Бекетов А.Р., Бекетов Д.А. Вестник Уральского технич. унив-та.- Электромеханика и управляемые электромеханические системы.- Екатеринбург: УПИ, 2000.- С. 227-240.
4. Изотов В.А., Пантелеев Ю.А., Полонский Ю.А. Тез. докл., ч. I, 5-я междун.. научн. техн. конф. Электромеханика, электротехнология и электроматериаловедение, г.Алушта, Крым, 23-26 сент., 2003 г.- С. 346 - 348.