

О совершенствовании системы охлаждения погружных электродвигателей открытого исполнения

В.А. Авдюнина, Н.П. Гузанов, С.И. Матвиенко, С.В. Попов

Одной из проблем проектирования погружных электродвигателей открытого исполнения (далее – ПЭД) является обеспечение эффективного отвода тепла от внутренних поверхностей статора и ротора, что требует поиска новых конструктивных решений по организации систем охлаждения ПЭД.

Известным принципом организации систем охлаждения, широко применяемым в машиностроении, является конструкция «винтового насоса», для чего на поверхности ротора выполняется многозаходная винтоканавочная нарезка. В электроприводах судовых устройств многозаходная винтоканавочная нарезка была использована в электрических машинах Ветохина (АМВ) [1].

Подобным путём пошли авторы при проектировании опытного образца ПЭД мощностью 1,1 кВт [2]. В отличие от конструкции, принятой в АМВ, данная система охлаждения организована двухходовой, т.е. вода всасывается в зазор между статором и ротором и выходит из каналов охлаждения, сформированных между статором и корпусом. Для увеличения интенсивности охлаждения забортной водой не только тела и короткозамыкающих колец ротора, но и областей статора с повышенным тепловыделением в опытном образце реализована система с аксиально-тангенциальным потоком охлаждающей среды через полость зазора.

Рассматриваемый образец ПЭД (рисунок 1) состоит из корпуса 1, с закреплёнными на внутренней его поверхности продольными пластинами 2, формирующими сквозные каналы 3 между корпусом 1 и статором 4. На валу 5 закреплён

ротор 6, на котором выполнены канавки 7 многозаходной винтовой нарезки. В корпусе 1 с обеих сторон установлены протекторные кольца 8 статора, а на валу установлены протекторные кольца 9 ротора и протекторные втулки 10. С обеих сторон корпуса закреплены подшипниковый щит 11 с отверстиями 12 и подшипниковый щит 13 с направляющими проточками 14.

Поскольку подшипниковый щит 13 представляет собой глухую крышку, в полости перед ним повышается развиваемый напор, и морская вода, собранная в направляющих проточках 14, с определённой скоростью поступает в сформированные между статором и корпусом каналы охлаждения. При движении в этих каналах вода охлаждает поверхности статора и выводится из полости электродвигателя через те же отверстия 12 в подшипниковом щите 11, что используются для её забора на охлаждение.

Таким образом, осуществляется циркуляция морской воды внутри полости электродвигателя и охлаждение его активных частей с использованием принципа действия винтового насоса. Для того, чтобы не допустить чрезмерных затрат мощности на перекачивание охлаждающей воды (чтобы электродвигатель не превратился в насос), но при этом обеспечить необходимый расход воды для эффективного охлаждения опытного образца, форма сечения канавок многозаходной винтовой нарезки выбирается с учётом закономерностей [3]:

- с увеличением длины и уменьшением шага винтовой канавки увеличивается развиваемый напор;
- с увеличением частоты вращения ротора увеличивается производительность.

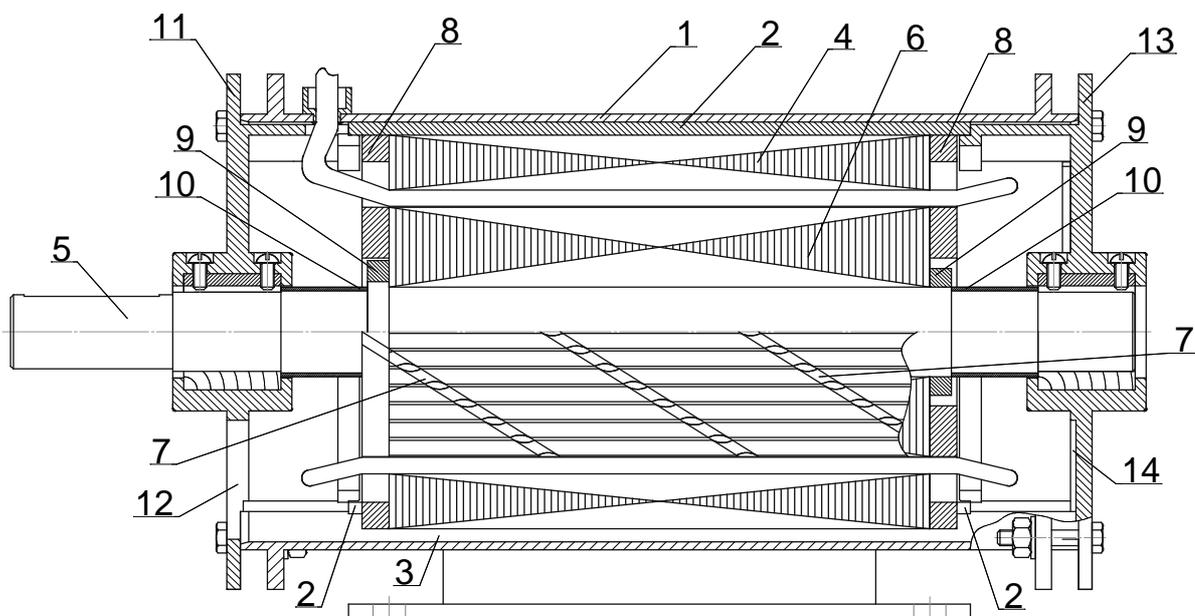


Рисунок 1 – Конструкция опытного образца ПЭД

Приведённое техническое решение по организации охлаждения ПЭД защищено патентом Российской Федерации на полезную модель [4].

Для дополнительной интенсификации процесса охлаждения ПЭД в качестве альтернативного варианта предлагается организовать принудительную циркуляцию заборной воды в его внутренней полости с помощью импеллера. Для этой цели, наряду с вентиляционными каналами между корпусом и сердечником статора и канавками на роторе, в нерабочей части вала ротора 1 делается осевое сверление 2, затем на вал ротора 1 насаживается цилиндрический диск 3, в котором выполняются радиальные цилиндрические отверстия 4 до пересечения с осевым отверстием 2, как показано на рисунке 2.

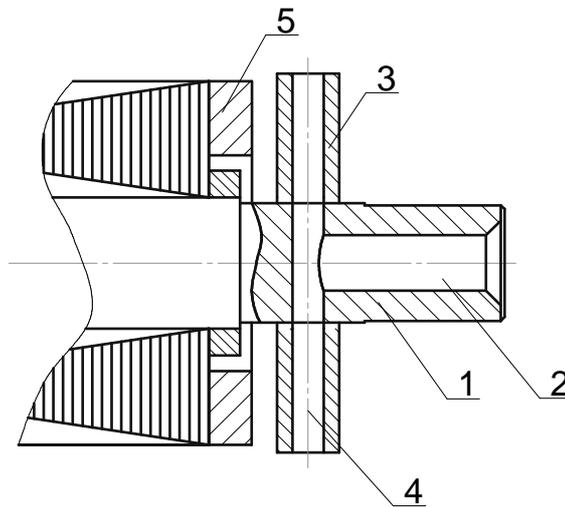


Рисунок 2 – Конструкция ротора с импеллером

Полученная система образует конструкцию центробежного насоса. При вращении ротора будет осуществляться всасывание забортной воды через осевое отверстие вала и последующий выброс её на периферию с помощью радиальных отверстий цилиндрического диска для прокачки через зазор между статором и ротором. Расходная характеристика насоса будет определяться геометрическими размерами канала, частотой вращения ротора и гидравлическим сопротивлением тракта движения жидкости в зазоре.

Поскольку ПЭД находится полностью в воде, то процесс теплообмена будет определяться следующей расчётной схемой:

- теплоотдачей при свободном движении морской воды около наружной поверхности корпуса ПЭД;
- теплоотдачей от внутренних поверхностей ПЭД в процессе принудительной циркуляции морской воды, подаваемой при помощи импеллера.

Первое составляющее количества отводимой от поверхности корпуса теплоты за единицу времени Q_c , Дж/с, определяется законом Ньютона-Рихмана

$$Q_c = \alpha \cdot (t_c - t_{ж}) \cdot S, \quad (1)$$

где α – средний коэффициент теплоотдачи с поверхности при свободном ламинарном движении жидкости, Вт/(м²·К), который определяется по формуле

$$\alpha = \frac{Nu_{ж} \cdot \lambda}{D}, \quad (2)$$

где $Nu_{ж}$ – число Нуссельта для жидкости, которое при её свободном ламинарном движении определяется по формуле И.М. Михеевой

$$Nu_{ж} = 0,50 \cdot (Gr_{ж} \cdot Pr_{ж})^{0,25} \cdot (Pr_{ж} / Pr_c)^{0,25}, \quad (3)$$

где 0,50, 0,25 – эмпирические постоянные;

$Gr_{ж}$ – определяющий критерий Грасгофа для жидкости;

$Pr_{ж}$ – критерий Прандтля, который определяется при удельной теплоёмкости жидкости при постоянном давлении $C_{p ж}$, Дж/(кг·К);

Pr_c – критерий Прандтля, который определяется при удельной теплоёмкости материала, из которого изготовлено тело теплоотдачи $C_{p c}$, Дж/(кг·К);

λ – коэффициент теплопроводности жидкости, Вт/(м·К);

D – диаметр тела, с поверхности которого осуществляется теплоотдача, м;

$t_c, t_{ж}$ – соответственно температура поверхности теплоотдачи и охлаждающей жидкости, К;

S – площадь поверхности теплоотдачи, м².

В формулах (1)-(3) за определяющую принята температура жидкости вдали от ПЭД, а в качестве определяющего размера принимается наружный диаметр корпуса ПЭД.

Второе составляющее количества теплоты, ежесекундно отводимое морской водой, проходящей через кольцевые зазоры внутренних полостей ПЭД, $Q_{вн}$, Дж, определяется по формуле

$$Q_{вн} = m \cdot C \cdot \Delta T, \quad (4)$$

где m – масса тела теплообмена, кг, которая определяется как произведение его объёма V , м³, на плотность ρ , кг/м³;

C – удельная массовая теплоёмкость материала тела теплообмена, Дж/(кг·К).

Поскольку суммарные потери тепла в ПЭД ρ'_Σ , Вт, должны быть отведены при помощи двух выше рассмотренных процессов, то справедлива формула

$$\rho'_\Sigma = Q_c + Q_{вн}. \quad (5)$$

Выразив из формулы (5) количество теплоты, ежесекундно отводимое морской водой от внутренних поверхностей ПЭД, $Q_{вн}$, Дж/с, определим необходимую подачу импеллера V , м³/с, по формуле

$$V = Q_{вн} / (\rho_{ж} \cdot C_{p_{ж}} \cdot \Delta T), \quad (6)$$

где $\rho_{ж}$ – плотность охлаждающей жидкости, кг/м³.

ΔT – разность конечной и начальной температуры поверхности теплоотдачи, К;

Основные размеры импеллера могут быть определены по методике расчёта центробежных машин. Потребляемая мощность импеллера N , Вт, определяется по формуле

$$N = \frac{\rho \cdot V \cdot H}{\eta}, \quad (10)$$

где η – КПД импеллера.

По результатам выполненных предварительных расчётов можно сделать вывод, что предлагаемое техническое решение позволяет гарантированно обеспечить охлаждение, принципиально не изменяя конструкции ПЭД. Для окончательной проверки предлагаемого решения и опытного изучения процессов охлаждения ПЭД необходимо изготовление опытного образца и проведение испытаний.

Данное решение защищено патентом Российской Федерации на полезную модель [5].

Литература

1 **Ветохин, В. И.** Новый погружной электродвигатель типа АМВ-5 [Текст] / В. И. Ветохин // Судостроение. – 1997. – № 4. – С. 55.

2 **Попов, С. В.** Проблемы проектирования погружных электродвигателей открытого типа [Текст] / С. В. Попов, Н. П. Гузанов, С. И. Матвиенко // Судостроение. – 2009. – № 1. – С. 35–36.

3 **Голубев, А. И.** Лабиринтно-винтовые насосы и уплотнения для агрессивных сред [Текст] / А. И. Голубев. – М. : Машиностроение, 1981. – 112 с. : ил.

4 **Пат. 85767 Российская Федерация, МПК51 Н02К 5/12 (2006.01).** Погружной асинхронный двигатель открытого исполнения [Текст] / Авдюнина В.А., Гузанов Н. П., Матвиенко С. И., Попов С. В. (Россия) ; заявитель и патентообладатель ОАО «НИПТБ «Онега», г. Северодвинск. – № ⁽¹⁹⁾RU⁽¹¹⁾ 2008149359/22⁽²¹⁾ U1; заявл. 15.12.2008 ; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 22. – 2 с. : ил.

5 **Пат. 94082 Российская Федерация, МПК51 Н02К 5/12 (2006.01), Н02К 9/12 (2006.01).** Погружной асинхронный двигатель открытого исполнения [Текст] / Авдюнина В.А., Гузанов Н. П., Матвиенко С. И., Попов С. В. (Россия) ; заявитель и патентообладатель ОАО «НИПТБ «Онега», г. Северодвинск. –

№ ⁽¹⁹⁾RU⁽¹¹⁾ 2010101299/22⁽²¹⁾ U1; заявл. 18.01.2010 ; опубл. 10.05.2010, Бюл. № 13.

– 1 с. : ил.