

## КРИТЕРИИ ВЫБОРА КОМПАУНДОВ ДЛЯ КАПСУЛИРОВАНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ОТКРЫТОГО ТИПА

**Введение.** Научно-технический прогресс в освоении мирового океана, археологические исследования, поиск и обследование затонувших объектов, строительство новых и инспекция существующих подводных инженерных сооружений, дноуглубление, подводный туризм формируют возрастающую потребность в новых судовых электрических машинах (ЭМ) для приводов забортных механизмов подводных аппаратов (ПА). Анализ существующей на сегодня отечественной подводной техники показывает, что ее современное состояние обеспечивает выполнение подводных работ на глубинах до 500 метров. В таблице дана характеристика существующего парка подводных аппаратов в Украине

Тип, название	Год постройки, страна	Масса, кг	Рабочая глубина, м/автоном. час	Экипаж, чел
Обитаемые ПА				
РИФ	1985, СССР	2800	100/72	2
Лангуст	1987, СССР	9700	540/72	3
Север-2	1970, СССР	20000	2000/72	5
Необитаемые ПА				
Агент-1	2002, НУК, Украина	65	550/-	2
РНПА «МТК-200»	2005, НУК, Украина	2500	550/-	4
Буксируемые ПА				
ГБО «СМ-800»	1998, АНГЛИЯ	22	350/-	2
БПА «Арго-Буй»	2005, НУК, Украина	150	600/-	1
Обитаемый БПА «Тетис»	1988, СССР	3000	200/24	2
Опускаемые ПА				
ОРПА «Эгир»	2004, НУК, Украина	150	25/-	2

Для расширения эксплуатационных возможностей ПА, повышения их энергетических и улучшения массогабаритных показателей необходимо, прежде всего, улучшить характеристики применяемых в них ЭМ.

В настоящее время в ПА используются, как правило, герметичные маслозаполненные ПЭД, которые отличаются повышенными массой и габаритами из-за наличия компенсирующих узлов, сложны в конструктивном исполнении. При больших глубинах погружения корпус таких ПЭД изготавливается с утолщенными стенками, при этом уплотнения и подшипниковые узлы остаются весьма чувствительны к гидравлическому воздействию. При обводнении масла выше 0,1% двигатель выходит из строя и, как правило, оказывается неремонтопригодным. Зарубежные фирмы (например, Franklin Electric) для решения задач подобного типа выпускают погружные двигатели открытого типа как залитые компаундом (неперематываемые), так и перематываемые, которые используются как в бытовых, так и в промышленных системах различного назначения. Однако они имеют довольно высокую стоимость. В России создано новое поколение ЭМ открытого типа с трехслойной изоляцией из облуженного сшитого полиэтилена и протекторной защитой железа статора и ротора, но из-за большой толщины изоляции они имеют малый коэффициент заполнения паза статора и, как следствие, завышенные массогабаритные показатели

**Постановка задач исследования.** Анализ доступных публикаций на эту тему показывает, что наиболее перспективным является развитие машин открытого исполнения с протекторной защитой активных частей машины и капсулированием обмотки статора. В статье приводится анализ материалов для компаундирования обмоток статоров, использование которых в ПЭД позволяет повысить плотность тока и полезную мощность с сохранением большого коэффициента заполнения паза в отличие от ЭМ с многослойной изоляцией обмоток статора, а также позволит увеличить объем свободного пространства внутри ПА, достигать большой глубины погружения в отличие от маслозаполненных электродвигателей.

**Материалы исследования.** В связи со специфическими условиями эксплуатации ПЭД к главным требованиям относятся: повышенная механическая прочность, улучшенные диэлектрические свойства, высокая стой-

кость к окислительной и гидролитической деструкции, стойкость к действию химических реагентов и высокая адгезия с металлами.

С целью подбора наилучшего по составу и основным свойствам литевочного компаунда нами были рассмотрены возможности применения для заливки статора различных видов пластмасс и резины. Термопластичные пластмассы и большая часть терморезистивных пластмасс не обладают необходимыми свойствами даже с учетом изменения содержания различных полимерных компонентов композиции, введения модификаторов и различного рода наполнителей.

Наибольшую перспективу имеют композиции на основе эпоксидной смолы, которые обладают повышенной водо- и химостойкостью, высокими электроизоляционными свойствами. В [2] приведены экспериментальные данные по использованию эпоксидного компаунда (ЭД-20, тиокол, отвердитель) для заливки статоров асинхронных двигателей. Натурные испытания подтвердили их высокую работоспособность.

В различных публикациях приводятся данные по регулированию свойств уже существующих компаундов путем изменения количественного содержания компонентов композиции или за счет применения специальной технологии их получения. Компания «Полимер», выпускает несколько видов отвердителей, применяемых в эпоксидных компаундах – ИБ-М, ЭПОКСИМ-М и ДТБ-2 на основе которых получают композиции с длительной жизнеспособностью. Для повышения водо- и химической стойкости, качества поверхности в «Полимер» разработана оригинальная технология получения отвердителя ДТБ-2. Данная технология позволяет использовать отвердитель в производстве изделий, обладающих пониженной токсичностью. Благодаря возможности регулирования времени гелеобразования отвердителя ДТБ-2 в широких пределах (до 120 минут и выше при 50<sup>0</sup>С) способствует выведению пузырьков воздуха из системы, увеличению жизнеспособности компаунда, улучшению его растекаемости и качества поверхности.

Эпоксидные компаунды обладают хорошими изоляционными свойствами, надежностью работы при повышенной температуре, высокой химической стойкостью. Подбор соответствующего содержания композиции, введение наполнителей в виде кварцевого песка позволяет повысить их гидростойкость и увеличить стойкость компаунда к растрескиванию, что даст возможность их успешной эксплуатации для капсулирования обмоток статоров ПЭД.

В связи с тем, что эпоксидные компаунды при их постоянном нахождении в воде гидролитически недостаточно устойчивы, был рассмотрен вопрос о применении полиуретанового компаунда АДВ 13-1 для увеличения водостойкости компаунда и стойкости к растрескиванию. Эксплуатация опытной партии электродвигателей подтвердила его высокие механические и диэлектрические свойства. В настоящее время фирмой «Адгезив» выпускаются твердые полиуретановые компаунды АДВ - 13-2, АДВ-13-3. Это сравнительно низковязкие композиции, которые легко растекаются и обладают хорошей проникающей способностью в сочетании с высокой стойкостью к ударам, вибрации, резким перепадам температур. Скорость их отверждения легко регулируется от секунд до нескольких десятков минут, они имеют высокую адгезию к металлам, пластмассам. Однако возможности их использования в химически активной морской воде еще до конца не изучены.

В процессе исследований была рассмотрена возможность использования для капсулирования универсального эпоксиаминокислотированного бутадиенакрилонитрильного компаунда ВИКОР-593. Его рабочая среда — абразивные растворы, пульпы, взвеси; химически очищенная, техническая, речная или морская вода; растворы солей, кислот и щелочей; водно-органические смеси, нефть и нефтепродукты; очищенные и неочищенные стоки промышленности, энергетики и коммунального хозяйства. ВИКОР-593, как и применяемый для герметизации и уплотнений на кораблях, емкостях, металлических конструкциях эластичный быстротвердеющий полиуретановый герметик Bostik 2639, обладают высокой адгезией к высококачественной стали и алюминию, водостойкостью, не оказывают коррозирующего воздействия, устойчивы против химикатов.

Были проведены также испытания в качестве компаунда резины из двухкомпонентного силиконового каучука холодного отверждения фирмы Wacker silicones. Полученные данные подтвердили высокую изоляционную способность, водостойкость материала, однако его низкая теплопроводность ограничивает ее использование для изоляции коробки выводов.

**Выводы.** Результаты экспериментальных исследований, проведенных на АД малой мощности по герметизации ПЭД, показали целесообразность применения эпоксидных компаундов при условии использования в них отвердителей с большим временем гелеобразования и химическим составом, обеспечивающим низкий коэффициент влагопоглощения. Из выпускаемых промышленностью видов отвердителей наиболее подходящим является ДТБ-2. Применение жидких резин позволяет использовать их в качестве компаундов для заливки коробки выводов двигателей. В настоящее время идет разработка и подготовка АД с двухслойным ротором с капсулированной обмоткой статора к длительным испытаниям в морской воде.

#### Литература.

1. Калинин Э.Л. Выбор пластмасс для изготовления и эксплуатации изделий. Справочник / Э.Л. Калинин, М.Б. Саковцева/ Л.: Химия, 1987, – 416с.
2. Агафонов В.В. Возможности модернизации АД обычного исполнения для работы в морской среде /В.В. Агафонов, А.М. Олейников, В.И. Ветехин //Матер. докл. научн.-техн. конф. «Электротехнические и электромеханические системы», 11 – 14 апр., 2005. – Севастополь. – С.50 - 53.

## **THE COMPOUND CHOISE CRITERIA FOR CAPSULATION OF OPENED TYPE DEEP-WATER ELECTRIC MACHINES**

*The problem of opened type submersible electric motors capsulation is considered. The analysis of isolation compounds for stator windings is given. Possibilities of achieving necessary technological properties of composition, advantages and lacks of different types of compounds are listed.*