

## **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ЭКСТРЕМАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

Существующая тенденция повышения уровня технических характеристик специальных электроприводов требует постоянного совершенствования методов их проектирования и испытаний. Вызвано это следующими причинами:

- необходимостью применения новых научно-технических решений, обеспечивающих экстремальные значения требуемых параметров;
- стремлением к снижению материальных затрат на всех этапах создания этих изделий;
- ограниченными возможностями по целому ряду причин в проведении всесторонних исследований в натурных и стендовых условиях.

Более 50 лет в НПП ВНИИЭМ существует самостоятельное научное направление по созданию нового класса электроприводов для движения торпед [1]. В основном для системы электродвижения торпеды используются биротативные электродвигатели, в которых ротор и статор вращаются во встречных направлениях и передают вращающий момент винтам. Особенность работы таких электродвигателей связана с условиями работы торпеды, которая должна в течение нескольких минут достичь цели и выполнить свое назначение.

Электродвигатель торпеды работает в тяжелейших условиях на пределе технических возможностей. Уже через минуту работы он разогревается до температуры в сотни градусов, что недопустимо для обычных машин. В торпедном электродвигателе на пределе находятся все электрические и механические нагрузки и до предела минимизированы весовые характеристики. В связи с этим, при создании торпедных электродвигателей необходимо учитывать следующие особенности:

1. Основные параметры и процессы являются предельно допустимыми и ограничены такими критериями, как нагрев активных частей до состояния, близкого к тепловому разрушению конструкции; механические нагрузки в конструкциях, приближающиеся к пределу прочности используемых материалов.

2. Существует тесная взаимосвязь между конструкциями электродвигателя и торпеды.

3. Экспериментальная отработка требует больших материальных затрат и не всегда практически выполнима в режиме штатной работы.

Учитывать эти особенности на основе сложившейся практики проектирования высокоиспользованных электроприводов в ряде случаев затруднительно. Основная причина состоит в том, что раздельная методика проектирования предусматривает системную структурно-параметрическую оптимизацию для усредненных значений электромагнитных, электромеханических и тепловых параметров, а имитационное моделирование процессов выполняется для оптимальных по усредненным параметрам структур. Это не обеспечивает минимальных масс и габаритов электропривода в области граничных значений параметров и процессов, которые лимитируются такими критериями, как предельный нагрев активных и конструкционных материалов, механические нагрузки, предел прочности материалов и пр.

Для решения этой проблемы в НПП ВНИИЭМ при создании высокоиспользованных электроприводов используются принципы комплексного системного подхода, который включает синтез системного моделирования и комплексного конструирования [2]. Основу системного моделирования составляют ориентированные структурно-параметрические и имитационные математические модели компонентов системы, алгоритмически связанные в структуре системной интегрированной модели. Эта модель предназначена для расчета оптимальных параметров компонентов, используемых при комплексном конструировании.

Результаты системного моделирования используются как уточненное проектное задание для комплексного конструирования. Последнее представляет двухэтапный процесс. На первом этапе комплексного конструирования разрабатывается предварительная конструктивная схема, которая используется для предварительных оптимизационных расчетов. В процессе оптимизации исходные данные уточняются и, соответственно, видоизменяется конструктивная схема. Полученные результаты являются исходными данными для второго этапа, заканчивающегося разработкой конструкции электропривода. Комплексность конструирования проявляется в учете взаимовлияния отдельных компонентов электропривода, а также объекта-носителя.

Принципы комплексного системного подхода были использованы при создании различных типов электроприводов:

- электропривода на основе традиционной биротативной кол-

латорной машины постоянного тока, технические характеристики которой соответствуют или превосходят характеристики зарубежных образцов;

- опытно-промышленных образцов регулируемого электропривода переменного тока с вентильным двигателем [3], обеспечивающим увеличение мощности и длительность рабочего цикла более чем в 2 раза по сравнению с приводом постоянного тока;

- опытных образцов асинхронного частотно-управляемого электропривода малых и средних мощностей;

- электропривода большой мощности с униполярным двигателем [4].

Классификация перечисленных типов электроприводов представлена на рис.1.

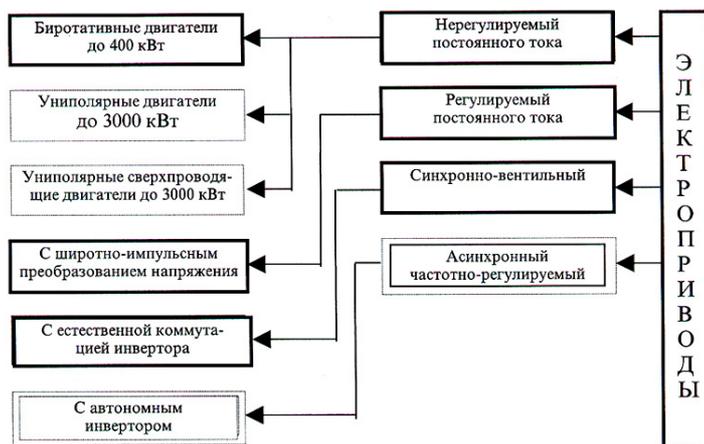


Рис. 1. Классификация приводов:

□ - работающие в составе объекта; ●●●● - стандовые образцы;  
 □ - в стадии разработки

Развитие торпедных электродвигателей и регулируемых электроприводов сопровождается постоянным ростом электромагнитных, тепловых и механических нагрузок. Эта тенденция является следствием улучшения массо-габаритных показателей и роста мощностей.

Серийные коллекторные торпедные двигатели (рис. 2), разработанные в НПП ВНИИЭМ, по коммутационным, электромагнитным и тепловым параметрам существенно превышают средние уровни в общепромышленном машиностроении и приближаются к предель-

но допустимым. По уровню удельных показателей (1,74 кВт/кг в отечественных двигателях) они не уступают аналогичным двигателям, применяемым в зарубежных торпедах (1,61 кВт/кг), а по некоторым показателям даже превосходят.

Однако для целого ряда задач этот тип электродвигателя уже не удовлетворяет современным требованиям как по абсолютным, так и по удельным значениям мощностей. Решение новых задач оказалось возможным только на основе комплексного системного подхода к проектированию электродвижительных приводов с учетом характеристик электрохимических источников тока, гребных винтов, а также гидродинамических характеристик. В результате определены оптимальные типы торпедных электроприводов для различных диапазонов мощностей.



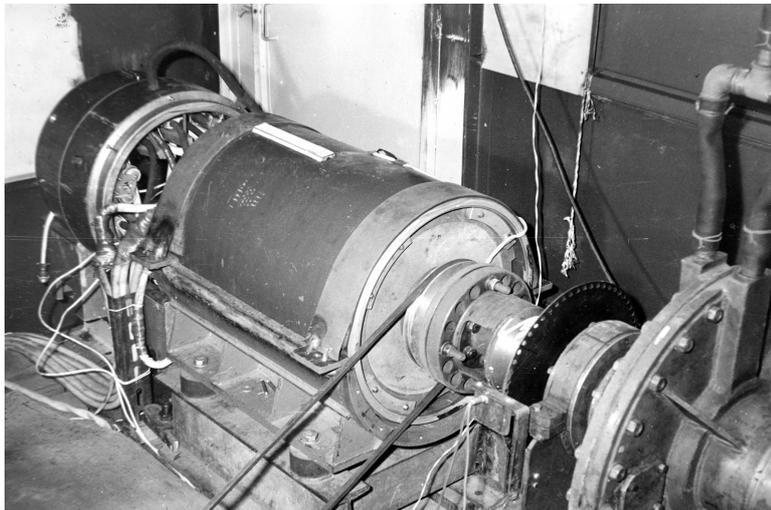
**Рис. 2. Коллекторный торпедный двигатель**

Оказалось, что традиционный биротативный тип коллекторного двигателя высокоэффективен при мощностях до 400 кВт. При этом достигаются граничные параметры, которые соответствуют предельным значениям электромагнитных, тепловых нагрузок и массогабаритных показателей.

Рост мощности двигателя постоянного тока свыше 400 кВт может быть достигнут за счет увеличения длины двигателя, а улучшение коммутационной способности за счет двухъякорного исполнения.

В диапазоне мощностей до 1800 кВт оптимальное решение обеспечивается применением вентильного двигателя с естественной коммутацией и электрохимическим источником тока с высокой энергоемкостью.

В НИИ ВНИИЭМ созданы и прошли морские испытания вентильные электроприводы мощностью до 900 кВт (рис.3) с регулированием скорости вращения в диапазоне 0,5 - 1,0 от номинальной. При создании вентильных приводов большой мощности сложной оказалась задача отработки алгоритма управления при ограниченном количестве пусков торпеды, вследствие высокой стоимости и малого количества электрохимических источников тока. Имитация реальных условий на стенде также оказалась сложной и дорогостоящей.



**Рис.3. Вентильный электропривод**

Успешное решение этой задачи было осуществлено на основе полунатурного моделирования с помощью гибридных топологических моделей, в которых использовались реальные системы управления.

Результаты анализа электроприводов в диапазоне мощностей до 3000 кВт выявили необходимость увеличения диаметра двигателя. Наиболее предпочтительными по техническим характеристикам в этом диапазоне мощностей являются униполярные двигатели.

Практический интерес представляют электроприводы с двигателями малой мощности и малого диаметра. В двигателях постоян-

ного тока из-за малого диаметра и увеличенной длины ухудшаются коммутационные характеристики. Оптимальным вариантом в рассматриваемом случае оказался асинхронный частотно-регулируемый транзисторный электропривод с высокооборотным двигателем и мультипликатором-дифференциалом. Инвертор с широтно-импульсным преобразователем обеспечивает необходимое изменение скорости двигателя. Комплексный подход был применен при разработке серийного электропривода постоянного тока с регулированием скорости вращения. За счет рационального построения схемы преобразователя с питанием от нескольких уровней напряжения аккумуляторной батареи удалось минимизировать габариты преобразователя в пределах предъявляемых требований.

### **Выводы**

На основе комплексного системного подхода к созданию электроприводов с экстремальными значениями параметров в НПП ВНИИЭМ созданы различные типы торпедных электроприводов, которые по своим техническим характеристикам не уступают зарубежным образцам.

В зависимости от тактико-технических требований разработаны следующие типы торпедных электроприводов:

- электроприводы малой мощности до 150 кВт с использованием асинхронного частотно-управляемого двигателя;
- традиционный биротативный электропривод постоянного тока мощностью до 400 кВт;
- вентильный электропривод с естественной коммутацией инвертора мощностью до 2000 кВт;
- электропривод мощностью свыше 2000 кВт на основе униполярного двигателя со сверхпроводящими обмотками.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Основные направления развития корабельной электромеханики /Шереметьевский Н.Н., Жемчугов Г.А., Круглин В.А., Калашников В.К.// Российская наука - Военно-морскому флоту. М.: Наука. 1997.
2. Многокритериальная структурно-параметрическая оптимизация сложных систем / Быков Ю.М., Жемчугов Г.А. и др.// Микропроцессорные средства и системы. 1988. № 6.
3. Математическое моделирование электромеханических процессов вентильного двигателя с управляемой частотой вращения / Жемчугов Г.А., Погосов А.А., Строгонова А.И.// Труды ВНИИЭМ. М.: 1980. Т. 64.
4. Корабельная электромеханика - тенденции развития /Жемчугов Г.А., Калашников В.К., Круглин В.А.// Электротехника. 1999. № 6.