

**ЭНЕРГО– РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
МАШИН РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

Введение. В течении XX века электрические машины (ЭМ), как силовая часть электропривода, развивались более динамично, чем сами системы ЭП. Затем к концу XX века из конструкции и технологии ЭМ было «выжато» почти все и развитие ЭМ пришло к некоторому насыщению [1] – рис.1, табл.1.

Повышение по годам КПД электродвигателей (ЭД) мощностью 250 кВт, 1500 об/мин, 380/660 В.

Таблица 1

Серия ЭД	Год освоения	КПД %
A2	1967 г.	92,5
A4	1973 г.	94,5
BA03	1985 г.	95,2
A5	1994 г.	96,5
A6	2000 г.	96,6

К этому времени развитие силовой полупроводниковой техники достигло необходимого уровня технологичности и надежности и в начале XXI века акценты в области повышения энергоэффективности ЭП сместились в сторону производства преобразователей частоты (ПЧ) для регулирования скорости асинхронных (АД) и синхронных (СД) двигателей.

Однако для ЭП, особенно средней и большой мощности, с частотно-регулируемыми АД возникают следующие проблемы:

- значительное повышение стоимости частотно-регулируемого ЭП по сравнению с самим АД;
- плохая совместимость АД старых серий с вновь созданными сериями ПЧ;
- снижение надежности и энергетики самого АД из-за перенапряжений и гармонических составляющих, связанных с работой ПЧ.
- расширяется спектр и уровни шумов и вибраций во всем диапазоне регулирования;
- АД питаются от ПЧ полигармоническим напряжением, что влияет на энергетические характеристики и тепловые свойства в динамических режимах ЭП.

Таким образом, к регулируемым АД (РАД) предъявляется ряд новых высоких требований с тем, чтобы обеспечить необходимую совместимость с ПЧ и общий энергетический и технический уровень ЭП.

Постановка задачи. По некоторым оценкам использование серийных АД в частотном ЭП снижает КПД и требует завышения их установленной мощности на 15-20 % (при работе в установившихся режимах) и до 40-45 % (при работе в динамических режимах). Из-за наличия высших гармоник на выходе ПЧ потери в ЭД возрастают на 5-6 % [2].

Поэтому ряд ведущих европейских, российских и японских фирм в конце XX начале XI века приступили к созданию модификаций и отдельных серий РАД. Например, Владимирский электромоторный завод (ВЭМЗ) выпускает широкую номенклатуру РАД в виде специальной модификации серий АИР и 5А мощностью от 0,18 до 315 кВт. Однако они дороже обычных ЭД: при $P_2 = 4\text{ кВт}$ – в 4 раза, при $P_2 = 50\text{ кВт}$ – в 20 раз! Баранчинский электромеханический завод разрабатывает тяговые частотно-регулируемые АД, на Сафоновском электромашинностроительном заводе производятся высоковольтные РАД типа АД для частотных ЭП с автономными инверторами тока и т.д.

Вместе с тем многие требования повышения энергоэффективности и надежности ЭМ в равной степени относятся как к обычным так и к регулируемым ЭД. И в одном и в другом случае требуется разработка и внедрение новых конструкций и технологий для создания энергоэффективных и надежных ЭМ. Отличие должно состоять в разных конструктивных сочетаниях и целесообразности применения отдельных новых технологий для соответствующих модификаций и серий ЭМ.

Целью исследования является анализ и обобщение авторских и других отечественных разработок и технологий в области электрических машин, которые могут позволить решить вышестоявшие задачи создания энергоэффективных и надежных ЭП, в том числе и для регулируемых ЭП.

Энергосберегающие разработки и технологии для ЭМ. В авторской работе [3] энергосберегающие разработки и технологии для ЭМ сгруппированы следующим образом:

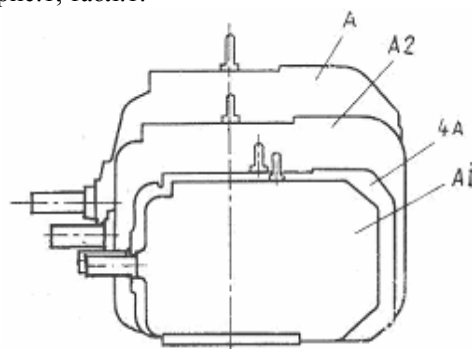


Рис. 1. Сравнительные габариты и масса (объем) асинхронных двигателей разных отечественных серий: А, А2, 4А, Аі

1 Разработки и технологии по интенсификации охлаждения:

- * 1.1 Симметричные системы воздушного охлаждения;
- * 1.2 Центробежные и встроенные тепловые трубы;
- 1.3 Продольно-закрученные трубы для теплообменников;
- 1.4 Охладительные трубы с внешним витым оребрением;
- * 1.5 Встроенные компактные внутренние вентиляторы .

2 Новые электротехнические материалы:

- 2.1 Современные электротехнические стали;
- 2.2 Новые электроизоляционные материалы и системы изоляции обмоток;
- 2.3 Новые электрические щетки для МПТ (в том числе для тяговых ЭМ).

3. Технологии на основе композиционных магнито-диэлектрических материалов:

- * 3.1. Капсулирование лобовых частей обмотки статора теплопроводящими магнито-диэлектрическими компаундами;
- * 3.2 Магнитные клинья типа МКП-6 для крепления обмотки в пазах статора ;
- 3.3 Магнито-жидкостные уплотнения для валов роторных машин.

4 Усовершенствование подшипников и подшипниковых узлов:

- * 4.1 Аксиально-упругие подшипниковые узлы (АУПУ) для ЭМ;
- 4.2 Подшипники скольжения с биметаллическими вкладышами и с пониженным коэффициентом трения;
- 4.3 Подшипники качения с электроизолирующим покрытием;
- 4.4 Магнитные бесконтактные подшипники.

Применение наукоемких энергосберегающих разработок и технологий на стадии проектирования новых серий ЭМ в соответствии с [3] представляется следующими направлениями:

- * 1. Применение системного подхода к проблеме внедрения энергоэффективных конструкций и энергосберегающих технологий для ЭМ;
- * 2. Синтез симметричных систем охлаждения и симметричных 3х фазных обмоток .
- 3. Применение высокоэффективных (закрученных и оребренных) теплообменных труб для теплообменников и встроенных центробежных тепловых труб для роторов АД;
- 4. Применение новых электротехнических материалов и систем изоляции обмоток;
- * 5. Применение магнито-диэлектрических материалов на основании композиционных технологий;
- * 6. Применение технологии изготовления литой медной короткозамкнутой обмотки роторов АД;
- 7. Применение цельнотянутых оребренных алюминиевых корпусов для крупных ЭМ;
- * 8. Методы конструктивного снижения концентрации напряжённости электрического поля в изоляции жёстких обмоток ЭМ;
- 9. Применение специальных постоянных магнитов для синхронных [тяговых] ЭД;
- * 10. Разработка вводных устройств с ограничителями перенапряжений;
- 11. Применение «сотовой» технологии для подшипниковых щитов взрывозащищённых ЭД;
- * 12. Разработка и применение аксиально-упругих подшипниковых узлов (АУПУ) и специальных подшипников;
- 13. Применение уплотнений взрывозащиты с «плавающими» кольцами и магнито- жидкостных уплотнений для подшипниковых узлов взрывозащищённых ЭМ;

В качестве примера новых технологий из приведенной НТП [3] рассмотрим новые решения систем охлаждения (СО) ЭМ, которые позволяют не только повысить эффективность охлаждения, но и снизить неравномерность теплового поля по длине машины, что приобретает очень важное значение для РАД. Для воздушного охлаждения ЭМ автором были разработаны принципы проектирования симметричных СО [4], а для АД, в том числе и регулируемых, - предлагается охлаждение с помощью встроенных тепловых труб (ТТ) [5].

Применение ТТ для охлаждения ЭМ. С точки зрения процесса теплопередачи ТТ представляет собой сверхпроводник тепла, обладающий рядом уникальных свойств:

- отвод тепла происходит практически без потерь;
- не требуется внешних затрат энергии на отвод тепла;
- ТТ имеет способность передавать большую тепловую мощность при малых градиентах температуры;
- ТТ эффективно охлаждают РЭД во всем диапазоне регулирования скорости.

Основной, наиболее исследованной и разработанной конструкцией ТТ в ЭМ является конструкция с центробежной ТТ в валу ротора (рис. 1).

* - технологии и разработки, представляющие наибольший интерес для регулируемого ЭП.

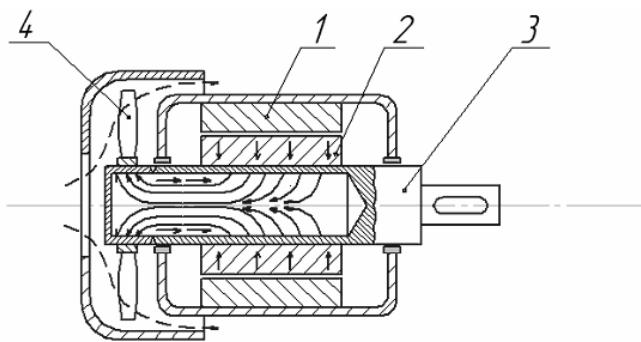


Рис.1. Конструкция ЭМ с центробежной ТТ:
1-статор; 2-ротор; 3-вал; 4-вентилятор

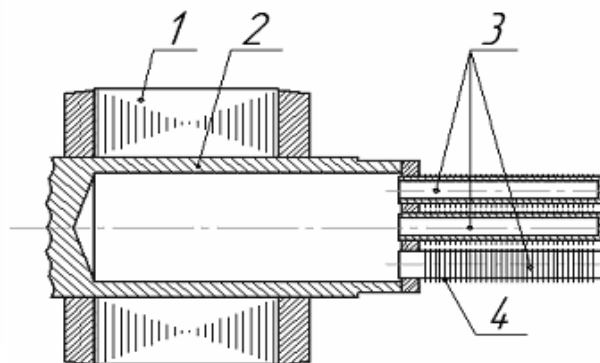


Рис. 2. Ротор ЭД 2ЭДКОФ-250М-4 при $P_2 = 55$ кВт с трубчатой конструкцией зоны конденсации ТТ в валу
1-ротор, 2-полый вал,
3-орребренные трубки, 4-орребрение трубок

Для совершенствования ЭМ с ТТ была разработана отечественная конструкция полого вала с развитой поверхностью охлаждения ТТ, образующейся за счет дополнения ТТ трубчатым теплообменником (рис.2).

Анализ полученных результатов показал, что при мощности 55 кВт применение ТТ обеспечило:

- *снижение средней температуры в обмотке статора- на $27.5^{\circ}C$;*
- *снижение средней температуры в обмотке ротора- на $88^{\circ}C$;*
- *снижение температуры в зонах максимального нагрева: в статоре - на $37^{\circ}C$, в роторе - на $95^{\circ}C$;*
- *снижение общих потерь в ЭД на 250 Вт и увеличение КПД на 0.38%.*

Выводы

1. Совершенствование ЭМ, как силовой части ЭП, имеет важное значение в общей проблеме энергоэффективного ЭП.
2. Поэтому проблему энергосбережения для регулируемого ЭП нужно рассматривать как системную задачу и для этих целей разрабатывать специальные модификации РАД.
3. Учитывая, что к концу XX века из конструкции и технологии ЭМ было «выжато» практически все, в ЦНТП [3] обобщены и проанализированы авторские и другие отечественные новые разработки и технологии в области энерго-ресурсосбережения ЭМ, которые рекомендуется применять для системной модернизации обычных и регулируемых ЭП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конохов Н.Н. Структурный анализ и принцип симметрии при совершенствовании конструкции электрических машин // *Электротехника і Електромеханіка.* –2007.-№3.-С. 36-38.
2. Петрушин В.С. Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе. - Одесса: Наука и техника.- 2006.- 320 с.
3. Конохов Н.Н. Научно-техническая программа «Энерго и ресурсосберегающие разработки и технологии для электрических машин топливно-энергетического комплекса Донбасса» /Н.Н. Конохов, В.Ф. Сивокобыленко // *Наукові праці ДонНТУ. Серія «Електротехніка і енергетика».* –Донецьк,: ДонНТУ.- 2009.-Вип. №9(158).- С.140-146.
4. Конохов Н.Н. Эффективность и принципы проектирования симметричных систем охлаждения электрических машин // *Электротехніка і Електромеханіка.* –2008.-№3.-С. 22-26.
5. Конохов Н.Н. Повышение послеремонтной надежности и продление ресурса промышленных и транспортных электрических машин путем реконструкции системы их охлаждения / Конохов Н.Н., Севастьянов В.А. // *Енерго- та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування.* - Матеріали міжвузівської науково-технічної конференції.- Донецьк, ДонИЖТ.- 2010.- С.8-18.