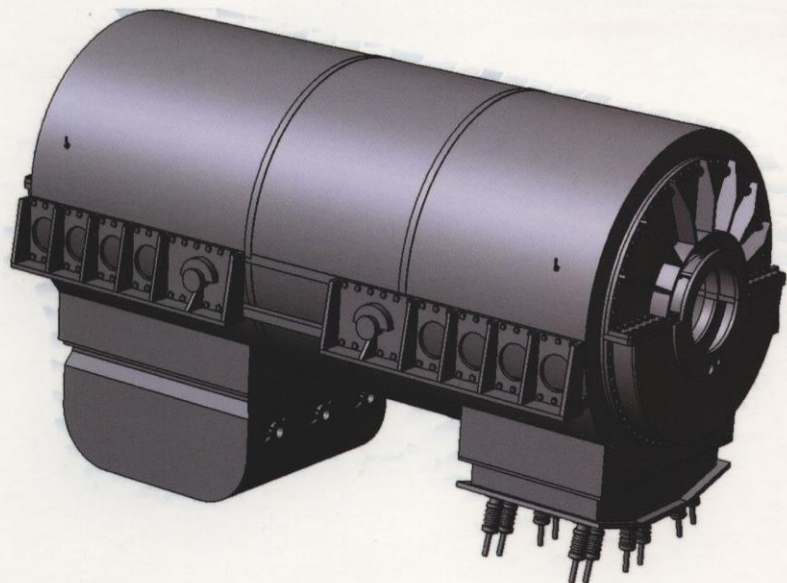
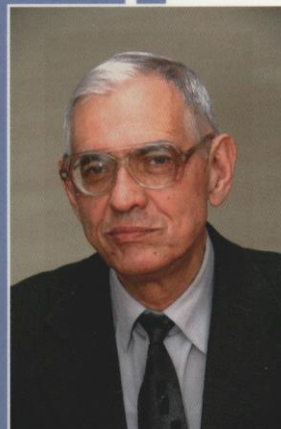


Кузьмин В.В., Шевченко В.В., Минко А.Н.



ОПТИМИЗАЦИЯ МАССОГАБАРИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕАКТИВНЫХ ЧАСТЕЙ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

Харьков
2012



Кузьмин Виктор Владимирович, д.т.н., проф., профессор кафедры «Электроэнергетика» УИПА, лауреат Государственной Премии Украинской ССР в области науки и техники (1990 г, за разработку научных основ и методов повышения нагрузочной способности и надежности турбогенераторов серии ТГВ и АСТГ), награжден «Орденом Дружбы народов» (1981 г., за успехи в освоении серийного производства мощных турбогенераторов с водородным и водородно-водяным охлаждением). Около 50 лет проработал на ГП завод «Электротяжмаш», пройдя путь от инженера-конструктора, до генерального конструктора, главного инженера, зам. директора по науке. Соавтор проектов по созданию новых серий турбогенераторов мощностью 200-500 МВт, технологии "гидравлического балансирования" обмоток роторов турбогенераторов 500 МВт, создания и внедрения первых в мире асинхронизированных турбогенераторов типа АСТТ-200-2УЗ. Имеет свыше 340 научных публикаций и несколько десятков авторских свидетельств и патентов.
E-mail: t.spat@rambler.ru



Шевченко Валентина Владимировна, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Электрические машины» НТУ «ХПИ». Инженер-физик. Работала доцентом кафедры «Электрические машины и аппараты» УЗПИ (впоследствии ХИПИ, УИПА), с 2006 по 2011 г. деканом энергетического факультета УИПА. В 2011 г. защитила диплом на квалификацию международного педагога (IGIP). Награждена 5 грамотами министра образования и науки, молодежи и спорта Украины. Область научных интересов энергосбережение в электроэнергетике, диагностика, надежность и реабилитация турбогенераторов ТЭС и АЭС, ветроэнергетика, сверхпроводимость в электроэнергетических установках. Имеет свыше 110 научных публикаций, 50 методических разработок, 2 монографии, 4 авторских свидетельства.
E-mail: zurbagan_@mail.ru



Минко Александр Николаевич, магистр по специальности «Профессиональное обучение. Электроэнергетика» и по специальности «Педагогика высшей школы», инженер-конструктор, (ГП завод «Электротяжмаш»), аспирант (УИПА). Область научных интересов параметрическая оптимизация конструкций турбогенераторов, повышение эффективности систем охлаждения, компоновка неактивной части генераторов. Автор компьютерной программы «Fahrenheit» (расчетно-конструкторское моделирование). Имеет свыше 20 научных публикаций, 4 авторских свидетельства (в том числе иностранные).
E-mail: alexandr.minko@list.ru

ISBN 978-966-876-625-1



9 789668 766251

ББК 31.261.62
М 62
УДК 621.312.322

Кузьмин В.В., Шевченко В.В., Минко А.Н. Оптимизация массогабаритных параметров неактивных частей турбогенераторов: Монография. - Харьков: СПДФЛ Чальцев А.В., 2012. – 246 с.

Рецензенты:

Артюх С.Ф., заслуженный деятель науки и техники Украины, профессор кафедры НТУ «ХПИ», доктор технических наук, профессор.

Маренич К.Н., заведующий кафедрой «Горная электротехника и автоматика им. Р.М.Лейбова» Донецкого НТУ, кандидат технических наук, доцент.

ISBN 978-966-8766-25-1

Изложена современная теория оптимизации параметров массы и габаритов неактивных частей турбогенераторов, основанная на использовании численных методов анализа и ориентированная на «малозатратность» производства турбогенераторов. Описаны получившие применение в промышленности и находящиеся на этапе внедрения модели, обеспечивающие выполнение механико-вентиляционных расчетов и физическое моделирование неактивных элементов конструкции, на различных уровнях. Основная часть материала монографии является результатом оригинальных исследований авторов.

Монография предназначена для широкого круга читателей. Материал представляет интерес для преподавателей, аспирантов, научных работников и инженеров, занимающихся теорией и практикой проектирования и создания турбогенераторов.

Таблиц – 58, рисунков – 77, библиография – 106 наименований.

УДК 621.312.322
ББК 31.261.62

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр
АННОТАЦИЯ.....	6
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ СНИЖЕНИЯ МАССОГАБАРИТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ	
1.1. Современные методы параметрической оптимизации электромашиностроительных конструкций.....	9
1.1.1. Анализ методов оптимального проектирования электромашиностроительных конструкций.....	9
1.1.2. Обзор современных численных методов анализа массогабаритных показателей электромашиностроительных конструкций.....	15
1.1.3. Анализ численных методов решения задач условной оптимизации и построение математических моделей.....	17
1.2. Обзор условий оптимизации массогабаритных параметров электрических машин.....	23
1.2.1. Обобщенные условия оптимизации массогабаритных параметров электрических машин.....	23
1.2.2. Особенности выполнения условий оптимизации массогабаритных параметров электрических машин при проектировании.....	28
1.2.3. Методы и показатели оценки уровня технологической оснащенности турбогенераторов.....	31
1.2.4. Оценка потребности предприятия в технологической оснастке и совершенствование методов ее определения.....	37
1.3. Разработка оптимальной формы сечения деталей при сложных видах нагрузки.....	44
1.3.1. Анализ рациональности формы сечения деталей.....	44
1.3.2. Выбор рационального сечения деталей при расчете на прочность....	49
1.3.3. Выбор оптимального сечения деталей при расчете на жесткость....	51
1.4. Принципы построения специальных сортаментов профилей несущих конструкций турбогенераторов.....	52
1.5. Общая технологичность конструкции и обеспечение прочности электромеханических конструкций.....	54
1.5.1. Показатели технологичности конструкции и их определение.....	54
1.5.2. Пути повышения прочности электромеханических конструкций....	57
1.5.3. Материалоемкость конструкции и коэффициент использования металла.....	62
1.5.3.1. Материалоемкость конструкции и методы ее определения.....	62
1.5.3.2. Расчет коэффициента использования металла.....	64
1.5.4. Методы приближения веса заготовки к чистому весу детали турбогенератора.....	67

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОГАБАРИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ С УЧЕТОМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ

2.1. Основные размеры и соотношения массогабаритных параметров турбогенераторов.....	76
2.1.1. Анализ зависимости главных размеров и весового показателя конструкции турбогенераторов.....	76
2.1.2. Выбор расчетного варианта турбогенератора по критерию весового показателя конструкции.....	79
2.1.3. Соотношение массогабаритных параметров подобных по конструкции турбогенераторов.....	81
2.2. Определение главных размеров турбогенераторов.....	83
2.3. Обеспечение механической надежности конструкции турбогенератора с учетом оптимизации его массогабаритных параметров.....	91
2.3.1. Расчет механической надежности оптимизированной конструкции турбогенератора.....	91
2.3.2. Несущая способность детали из пластичного материала при действии изгиба со сдвигом.....	95
2.3.3. Несущая способность детали из пластичного материала при действии изгиба с растяжением.....	98
2.3.4. Несущая способность кольцевых пластин при изгибе.....	101
2.3.5. Рациональный подбор материалов при создании оптимальной конструкции.....	105
2.4. Взаимосвязь среды охлаждения и массогабаритных параметров турбогенераторов.....	140
2.4.1. Параметрическая связь физических свойств охлаждающей среды с показателями массы и габаритов неактивных частей турбогенераторов.....	140
2.4.2. Основные расчетные данные и главные размеры конструкций турбогенераторов с водородной и воздушной системами охлаждения.....	145
3. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ МАССОГАБАРИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕАКТИВНОЙ ЧАСТИ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ	
3.1. Исторические аспекты развития конструкций турбогенераторов с воздушной системой охлаждения.....	150
3.2. Параметрическая оптимизация массогабаритных характеристик конструкций корпусов статоров турбогенераторов.....	161
3.2.1. Описание исследуемой модели корпуса статора.....	161
3.2.2. Оптимизация массогабаритных параметров конструкций корпусов статоров турбогенераторов.....	165
3.2.3. Массогабаритная оценка оптимизированной конструкций корпусов статоров турбогенераторов.....	170
3.3. Параметрическая оптимизация массогабаритных характеристик конструкции приставных коробов.....	174
3.3.1. Описание исследуемой модели приставных коробов.....	174
3.3.2. Оптимизация массогабаритных параметров конструкции приставных коробов.....	179

3.3.3. Массогабаритная оценка оптимизированной конструкций приставных коробов.....	185
3.4. Параметрическая оптимизация массогабаритных характеристик конструкции наружного щита и подшипникового узла.....	189
3.4.1. Описание компоновки наружного щита и подшипникового узла турбогенератора.....	189
3.4.2. Оптимизации массогабаритных параметров конструкции наружного щита и подшипникового узла.....	192
3.4.3. Массогабаритная оценка оптимизированной геометрии наружного щита и опорного подшипника.....	197
3.5. Оценка технологичности конструкции с оптимизированными массогабаритными параметрами.....	201
3.6. Расчет на прочность основных узлов предложенной конструкции с оптимальными массогабаритными параметрами.....	205
3.6.1. Механический расчет жесткости и вибрации оптимизированной конструкции корпуса статора с оптимальными массогабаритными параметрами.....	205
3.6.2. Механический расчет предложенной конструкции наружного щита с оптимальными массогабаритными параметрами.....	213
3.6.3. Механический расчет тепловых деформаций предлагаемой конструкции корпуса статора.....	215
3.6.4. Тепловой и аэродинамический расчет предложенной конструкции газоохладителей с оптимальными массогабаритными параметрами.....	218
4. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА ОБЛЕГЧЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ	
4.1. Способы определения экономических показателей оптимальной конструкции турбогенератора.....	223
4.2. Методы определения трудоемкости конструкции корпуса турбогенератора.....	229
4.3. Экономическое значение унификации деталей турбогенераторов при оптимизации их массогабаритных параметров.....	232
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	238

АННОТАЦИЯ

К числу ограничений, которые необходимо соблюдать при проектировании электрических машин (ЭМ), наряду с максимально допустимыми механическими и электрическими нагрузками, величине допустимых температур активных элементов конструкций и возможностью осуществления технологических операций, относятся массогабаритные параметры конструкций, которые характеризуют эффективность геометрии машины, степень рациональности выбора и использования конструкционных материалов и трудоемкость технологических операций. Общему прогрессу электромашиностроения всегда сопутствует оценка его конкурентоспособности, одним из главных критерием которых являются массогабаритные характеристики ЭМ.

В конце 20-го века первоочередным стал вопрос оптимизации технико-экономических параметров электромеханических устройств, значительно вырос интерес к оптимизации массогабаритных показателей и экономии материалов. Появился ряд научных работ, в которых рассматривается параметрическая оптимизация конструкций и функциональных связей основных геометрических размеров с электромагнитными показателями и механическими характеристиками ЭМ. Кроме того, получены определенные результаты по рациональному выбору материалов и типов конструкций ЭМ с целью экономии материалов и уменьшения их себестоимости.

В настоящем издании использован опыт проектирования турбогенераторов конструкторским бюро ГП завода «Электротяжмаш» (г. Харьков), многолетний опыт подготовки специалистов в области электромашиностроения и электроэнергетики в Национальном техническом университете «ХПИ», результаты практической работы ООО «Элта-инжиниринг» (г. Харьков).

Рассмотрены вопросы проектирования конструкций турбогенераторов с воздушной системой охлаждения и с оптимальными массогабаритными параметрами; выполнен их анализ и установлены условия их параметрической оптимизации. Проведена оценка методов расчета главных размеров турбогенераторов, анализ соотношения массогабаритных параметров и обеспечения механической надежности конструкций. Установлена связь свойств материалов при оптимизации массогабаритных параметров турбогенераторов и эффективностью технологических процессов при осуществлении такой оптимизации. Проведена экономическая оценка выполнения турбогенераторов с облегченной конструкцией неактивной зоны, рассмотрены особенности унификации деталей машин и её связей с массогабаритными показателями и степенью трудоемкости выполняемых работ.

Отзывы о книге, замечания и пожелания просьба присылать на электронные адреса авторов.

ВВЕДЕНИЕ

Турбогенераторы (ТГ) представляют собой основной вид генерирующего оборудования, обеспечивающего свыше 80% общего мирового объема выработки электроэнергии. Одновременно ТГ являются и наиболее сложным типом электрических машин, в которых тесно сочетаются проблемы мощности, габаритов, электромагнитных характеристик, нагрева, охлаждения, статической и динамической прочности элементов конструкции, их надежности. Обеспечение максимальной эксплуатационной надежности и экономичности ТГ является центральной научно-технической проблемой электромашиностроения.

Огромный вклад в развитие отечественного турбогенераторостроения, в развитие теории, разработку вопросов расчета, проектирования и эксплуатации ТГ внесли многие ученые, исследователи, конструкторы, среди которых в первую очередь следует отметить Алексеева А.Е., Лютера Р.А., Костенко М.П., Бергера А.Я., Ефремова Д.В., Иванова Н.П., Глебова И.А., Казовского Е.Я., Еремина М.Я., Вольдека А.И., Жерве Г.К., Важнова А.И., Видемана Е., Келленбергера В., Шуйского В.П., Готтера Г., Филипова И.Ф. [1, 2, 7, 11, 20, 22, 23, 24, 36, 59, 37, 72].

Турбогенераторы устанавливаются на тепловых и атомных электростанциях и предназначены для выработки электроэнергии в продолжительном, номинальном режиме работы при непосредственном соединении с паровыми или газовыми турбинами. Турбогенераторы, в зависимости от мощности, подразделяются на три основные группы: мощностью 2,5 – 32 МВт, 60 – 320 МВт и свыше 500 МВт. По частоте вращения различают турбогенераторы четырехполусные (частота вращения 1500 и 1800 мин⁻¹) и двухполусные (частота вращения 3000 и 3600 мин⁻¹) соответственно на частоты сети 50 и 60 Гц.

По виду приводной турбины турбогенераторы классифицируются на генераторы, приводимые во вращение паровой турбиной, и генераторы с приводом от газовой турбины.

По системе охлаждения турбогенераторы подразделяются на машины с воздушным, с косвенным водородным, непосредственным водородным и жидкостным охлаждением. В настоящее время серийно турбогенераторы с воздушным охлаждением выпускаются мощностью до 200 МВт.

Вместе с тем, несмотря на огромное количество работ, выполненных за прошедшие десятилетия, вопросы дальнейшего развития теории, разработки более совершенных технологий и конструкций ТГ, методов расчета и исследований не теряют своей актуальности. Исследования идут в направлении совершенствования конструкций важнейших узлов. Применение таких конструкций в качестве типовых для ТГ различных серий позволяет не только повысить их качество и надежность, но и обеспечить высокую унификацию, снижение себестоимости производства и эксплуатационных расходов.

Современный этап развития турбогенераторостроения характеризуется появлением широкого спектра новых типов ТГ, разнообразием имеющихся конструктивных решений. Перед исследователями возникают новые сложные задачи в связи с тенденцией отказа от водорода в качестве хладагента и перехода на конструкции с другими системами охлаждения (вода, воздух). Среди новых разработок следует, в первую очередь, выделить конструкции, не имеющие мировых аналогов и позво-

ляющие превзойти продукцию конкурентов по главным технико-эксплуатационным показателям: уровню нагрева, КПД, маневренности, перегрузочной способности, надежности, массы и габаритов, а также исключению взрывоопасного водорода в качестве хладагента.

Большое значение имеют работы по совершенствованию конструкции, повышению качества и экономичности ТГ в условиях усиления конкурентной борьбы за право поставок энергетического оборудования на мировой рынок, существенного повышения требований к эксплуатационным показателям ТГ. В первую очередь это относится к увеличению сроков службы и межремонтных периодов, повышению требований к коэффициенту готовности, маневренности, запасам мощности, обеспечению безаварийной работы ТГ в режимах с потреблением реактивной мощности, снижению расходов на обслуживание и ремонты. В связи с переориентацией энергетики на электростанции средней и малой мощности увеличен выпуск турбогенераторов с воздушным охлаждением нового поколения. Турбогенераторы предназначены для работы при сопряжении, как с паровыми, так и газовыми турбинами. В последнем случае они обеспечивают разворот газотурбинной установки до необходимой скорости от тиристорного пускового устройства.

Вопросами усовершенствования конструкций турбогенераторов в мире и в Украине занимаются постоянно. Но эти исследования практически полностью посвящены вопросам исследования активной зоны. В вопросах совершенствования системы охлаждения ТГ и повышения их конкурентоспособности (снижение массогабаритных показателей) значительную роль играет состояние неактивной зоны. Рассмотрению этого вопроса посвящена настоящая работа.