

4. Ковальский А. Э. Моделирование процесса каплеударной эрозии рабочих лопаток паровых турбин с целью совершенствования их противозерозионных показателей: Автореф. дисс.... канд. техн. наук. – 1987. – Л. – 16 с.
5. Шубенко А. Л. Кинетическая модель каплеударной эрозии рабочих лопаточных аппаратов паровых турбин / А. Л. Шубенко, А. Э. Ковальский // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1989. – № 5. – С. 94–101.
6. Перельман Р. Г. Эрозия элементов паровых турбин / Р. Г. Перельман, В. В. Пряхин. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 184 с.

Поступила в редакцию
10.01.10

УДК 621.735

А. Н Минко

ГП завод «Электротяжмаш» (г. Харьков)

МАССОГАБАРИТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ С ВОЗДУШНОЙ И ВОДОРОДНОЙ СИСТЕМАМИ ОХЛАЖДЕНИЯ КАК ОСНОВНОЙ ПОКАЗАТЕЛЬ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ТУРБОАГРЕГАТА

Проведена сравнительная оценка массогабаритных параметров турбогенераторов с воздушной и водородной системами охлаждения. Приведены статистические данные, сформулированы и обоснованы технические требования, определяющие значения массогабаритных параметров, обуславливающие конкурентоспособность турбоагрегата.

Проведено порівняльну оцінку масогабаритних параметрів турбогенераторів з повітряною та водневою системами охолодження. Наведено статистичні дані, сформульовано й обґрунтовано технічні вимоги, що визначають значення масогабаритних параметрів, які обумовлюють конкурентоздатність турбоагрегату.

Постановка задачи и анализ литературы

Постоянная конкуренция среди производителей энергомашиностроительной отрасли диктует новые технические и технологические требования к современным турбогенераторам (ТГ). Важным технико-экономическим показателем изготовления ТГ являются его массогабаритные параметры, которые определяют экономическую целесообразность изготовления ТГ, т. е. конкурентоспособность машины, и выражаются рыночным соотношением «доллар – за килограмм».

Технический и экономический уровень строительства и реконструкции тепловых и атомных электростанций во многом зависит от себестоимости основного оборудования [1–3], т. е. турбогенератора и турбины. Генерируемая мощность и массогабаритные параметры ТГ имеют прямую зависимость от применяемых в них систем охлаждения. Анализ мировых стандартов, работа на мировых рынках сбыта, статистические данные, полученные лабораторным путем, практика проектирования турбогенераторов показывает высокую конкурентоспособность ТГ с воздушной системой охлаждения (ВСО) по сравнению с ТГ с водородным охлаждением, в плане снижения величины массогабаритных параметров. Так, например, вес ТГ с ВСО при мощности 220 МВт составляет 268 т, а ТГ с водородной системой охлаждения 321 т при мощности 200 МВт. (по данным паспортов ТГ).

Нашей задачей является поиск решений изменения конструкции неактивной зоны ТГ при замене водородной системы охлаждения ТГ на воздушную систему не только с целью улучшения технических параметров и, в первую очередь, эксплуатационной безопасности, но и повышение конкурентоспособности турбогенераторов отечественного производства за счет снижения удельных массогабаритных показателей.

Целью работы является сравнительная оценка массогабаритных параметров ТГ с воздушной и водородной системами охлаждения, анализ конструкции неактивной зоны ТГ, а также определение возможных путей ее изменения с целью оптимизации (снижения) массогабаритных показателей.

Основной материал

Анализ тепловых расчетов [4–5] турбогенераторов, выпускаемых заводом «Электротяжмаш» (г. Харьков, Украина) позволяет отметить, что в ТГ с водородным охлаждением существует запас по превышению температуры нагрева машины в 20–25% по отношению к допустимой температуре нагрева принятого класса нагревостойкости изоляции. Отказ от запаса по температурным характеристикам изоляции на один класс нагревостойкости (service – factor), принятый еще в СССР, сделал возможным проектировать новые ТГ с прежними значениями мощности на базе ТГ с водородным охлаждением, но, применяя систему воздушно-го охлаждения, сохраняя запас по превышению температуры в 2–4%, что определяется мировыми стандартами.

На заводе «Электротяжмаш» уже изготовлены ТГ с воздушной системой охлаждения мощностью 120 и 160 МВт, но они уступают мировым аналогам по удельному соотношению мощности и веса. Поэтому идет поиск решений по изменению этого показателя.

Новые разработки конструкций турбоустановок сфокусированы не только на повышение мощности в исходном габарите и увеличении значения КПД, но направлены и на уменьшение материалоемкости для повышения конкурентоспособности ТГ на мировом рынке.

В ходе работы проанализированы конструкции ТГ украинского и российского производства [1], для сравнения соотношения мощности машин и их весовых показателей. Условное соотношение веса активной и неактивной частей составляет соответственно 85 и 15%. Вес активной части ТГ определяется весом ротора (около 30%) и статора (около 70%). В табл. 1 приведены некоторые данные для некоторых ТГ с воздушной системой охлаждения производства Украины («Электротяжмаш») и России («Электросила», г. Санкт-Петербург).

Таблица 1. Значения мощности и веса турбогенераторов серии ТА и ТЗФ с воздушной системой охлаждения

Тип	Мощность, МВт	Масса, т	Производитель
ТЗФП-120-2	120	178	«Электросила»
ТА-120-2	120	257	«Электротяжмаш»
ТА-160-2	160	300	«Электротяжмаш»
ТЗФП-160-2М	160	243	«Электросила»
ТЗФ-220-2	220	268	«Электросила»
ТЗФ-350-2	350	280	«Электросила»

Вес ТГ завода «Электротяжмаш» остается довольно высоким в сравнении с продукцией российской электромашиностроительной отрасли, что свидетельствует о необходимости ведения работы в данном направлении [2–3].

Для доказательства актуальности выполнения работ по изменению конструктивных решений неактивной зоны ТГ для уменьшения их массы при переходе от водородного к воздушному охлаждению рассмотрим показатели веса и мощности этих машин (табл. 2).

По сравнению с ТГ с ВСО, турбогенераторы серии ТГВ обладают большим весом и большими габаритными размерами. Это обусловлено техническими и технологическими требованиями эксплуатации ТГ, а именно:

- обеспечение механической прочности конструкции;
- соблюдение герметичности газового пространства;

- наличие сложных вспомогательных систем для осуществления водородной системы охлаждения;
- обеспечение прочности при повышенной взрывоопасности ТГ;
- чувствительность компоновки газоохладителей.

Таблица 2. Сравнение мощности и массы турбогенераторов производства завода «Электротяжмаш» с водородным (серия ТГВ, ТВВ) и воздушным охлаждением

Водородное охлаждение			Воздушное охлаждение		
тип	мощность, МВт	масса, т	тип	мощность, МВт	масса, т
ТГВ-200-2М	200	321	ТА-160-2	160	300,5
ТГВ-300-2	300	364	ТА-200-2*	200	264
ТГВ-500-2	500	495	ТА-350-2*	350	303,5
ТВВ-1000-2	1000	561	–	–	–

* – проект находится на стадии разработки.

В табл. 3 подробно дана информация сравнительной массогабаритной оценки основных элементов конструкции ТГ, которая условно разделена на три основных элемента: статор, ротор и торцевая часть (теплообменник вертикального исполнения отнесен в торцевую зону ТГ).

Таблица 3. Массогабаритная оценка турбогенераторов ТА-200 и ТГВ-200

Элементы конструкции	Узел	ТА-200		ТГВ-200	
		Габариты, мм	Масса, кг	Габариты, мм	Масса, кг
Система охлаждения:		Воздушная		Водородная	
Статор	Корпус	3220, Ø3400	19000	3600, Ø3815	24500
	Нажимная плита	370, Ø2600, Ø1900	1100	400, Ø3050, Ø2750	1700
	Обмотка (клин)	3400×26,5×110	145	3450×28×130	160
	Сердечник	3200, Ø2540, Ø1300	48000	3560, Ø3000, Ø1430	61000
Ротор	Сердечник	3000, Ø1100, Ø6500	43000	3650, Ø1280 Ø7200	56500
	Обмотка (клин)	3000×23×83	131	3600×26,5×95	148
	Бандажное кольцо	320, Ø1150, Ø860	1020	360, Ø1330, Ø1100	1400
Торцевая зона	Щиты	475, Ø3420	2800	506, Ø3620	3730
	Подшипник	2050×2140×810	6420	2210×2300×890	6970
	Теплообменник	2430×450×450	745	2670×500×500	855

ТГ с ВСО отличаются сравнительной простотой исполнения, требуют меньше затрат материала на производство, обеспечивают высокую безопасность эксплуатации, а также позволяют осуществить компоновку с газовой турбиной.

У ТГ с водородной системой охлаждения увеличивается вес из-за увеличения толщины стенок элементов корпуса статора для повышения безопасности эксплуатации турбогенератора, [3]. В табл. 4 представлены допустимые прочностные показатели ТГ среднего класса мощности (120–320 МВт).

Исходя из вышеизложенного, сформулируем основные технические требования, которые предъявляются к массогабаритным показателям ТГ, [1–3]. Представим их в виде структурно-логической схемы (см. рис. 1).

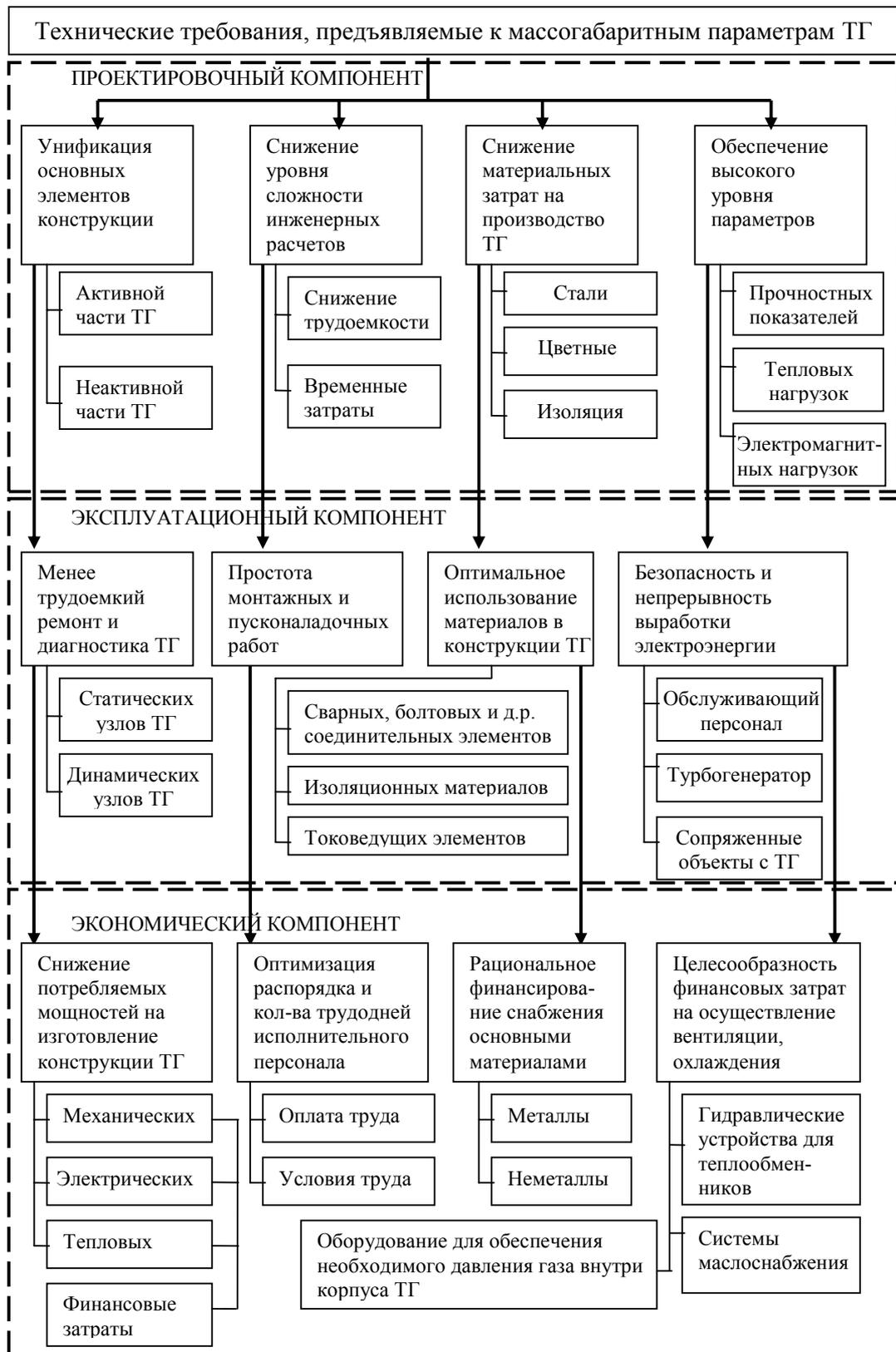


Рис 1. Основные технические требования к проектированию современных турбогенераторов

Таблица 4. Толщина элементов корпуса статора ТГ среднего класса мощности

Система охлаждения	Наружный диаметр обшивки, мм	Толщина обшивки, мм	Толщина торцевых стенок, мм	Толщина поперечных стенок, мм	Опорные лапы, мм
Воздушное	1300	6	30–34	12–16	30–40
	1700–2000	8	30–34	12–16	36–42
	2250–3350	10–16	34–50	20–24	42–50
Водородное	До 3000	20	70–80	20	70
	Свыше 3000	24	70–80	25–30	70

Структурно-логическая схема разбита на три основных компонента: проектировочный, эксплуатационный и экономический. На наш взгляд, эти компоненты являются фундаментальными «стержнями» процесса проектирования турбогенераторов. В схеме условно можно различить четыре основных ветви развития (слева – направо), дадим краткую характеристику каждой ветви:

I. Техническая – содержит в себе техническую сторону вопросов оптимизации конструкции турбогенератора, в части рационального управления процессом производства турбогенератора.

II. Управленчески-кадровая – отображает состояние проектирования турбогенераторов с учетом человеческого фактора, т.е. временных рамок поставленных задач, уровня квалификации инженерного персонала, оплату и условия труда и т.д.

III. Материально-снабженческая – характеризует требования об оптимальном использовании основных материалов и своевременном снабжении необходимыми материалами цехов. Как показывает практика, отсутствие нужного металла или изоляционного материала сильно тормозит и усложняет процесс изготовления конструкции турбогенератора.

IV. Технологическая – формулирует требования к той части проектирования турбогенератора, задачами которой являются обеспечение необходимым уровнем качества параметров будущего турбогенератора.

Высокий показатель результативности проектирования турбогенератора будет достигнут только при обеспечении надежной связи всех компонентов структурно-логической схемы.

Выводы

1. На основании анализа технических данных и отечественного опыта проектирования электрических машин выделены основные элементы конструкции ТГ, которые определяют массогабаритные характеристики ТГ с воздушной и водородной системами охлаждения. Предложена сравнительная массогабаритная оценка турбогенераторов с воздушной (серия ТА) и водородной (серия ТГВ) системами охлаждения как основной показатель конкурентоспособности.

2. Сформулированы технические требования, которые предъявляются к массогабаритным показателям ТГ, на основе которых может быть разработана техническая документация более рентабельной конструкции ТГ.

3. Перечислены технические и технологические требования эксплуатации ТГ с воздушной и водородной системами охлаждения.

4. Установлено, что в ТГ с водородными системами охлаждения существует запас по превышению температуры нагрева машины в 20–25 % по отношению к допустимой температуре нагрева при принятом классе нагревостойкости изоляции. Кроме того, отказ от service-factor-a делает возможным проектировать новые ТГ, не уступающие своими параметрами турбогенераторам с водородной системой охлаждения, экономическая эффективность которых будет значительно выше.

Литература

1. *Филиппов И. Ф.* Вопросы охлаждения электрических машин / И. Ф. Филиппов. – М.: Госэнергоиздат, 1974. – 334 с.
2. *Алексеев А. Е.* Конструкция электрических машин / А. Е. Алексеев. – Киев.: Госэнергоиздат, 1968. – 428 с.
3. *Жерве Г. К.* Промышленные испытания электрических машин / Г. К. Жерве. – М.: Энергия, 1978. – 574 с.
4. *Протокол* испытаний турбогенератора ТА–120: № ОТХ 129.2491. ГП завод «Электротяжмаш», – Харьков, 2009 г. – 46 с.
5. *Рихтер Р.* Электрические машины / Р. Рихтер. В 2-х т. – М.: Энергия, 1976. – 688 с.

Поступила в редакцию
06.06.10