

УДК 621.313.322.025.3-81

**В.В. ШЕВЧЕНКО**, канд. техн. наук; доц. УИПА, г. Харьков  
**А.Н. МИНКО**, инженер ГП «Электротяжмаш», г. Харьков

### **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МАССОГАБАРИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ С ВОЗДУШНОЙ И ВОДОРОДНОЙ СИСТЕМАМИ ОХЛАЖДЕНИЯ**

Проведено порівняльну оцінку маса-габаритних параметрів турбогенераторів з повітряною й з водневою системами охолодження. Наведено статистичні дані, сформульовані й обґрунтовані технічні вимоги, що визначають значення маса-габаритних параметрів.

Comparative estimation of gravimetric and overall parameters of turbogenerators is conducted with air and with hydrogen by the cooling systems. Statistical information is resulted, formulated and grounded technical requirements which will define the of gravimetric and overall parameters.

#### *Постановка задачи и анализ литературы.*

Постоянная конкуренция среди производителей электромашиностроительной 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 ТЭС и АЭС во многом зависит от себестоимости основного оборудования [1–3], т.е. турбогенератора и турбины. Генерируемая мощность и массогабаритные параметры ТГ зависят от применяемых в них системах охлаждения. Анализ мировых стандартов, работа на мировых рынках сбыта, статистические данные, полученные лабораторным путем, практика проектирования ТГ показывает высокую конкурентоспособность ТГ с воздушной системой охлаждения (ВСО), по сравнению с ТГ с водородным охлаждением, с т.зрения снижения величины массогабаритных параметров. Так, например, вес ТГ с ВСО при мощности 220 МВт составляет 268 тонн, а ТГ с водородной системой охлаждения при мощности 200 МВт – 321 тонну (по данным паспортов ТГ НПО «Электротяжмаш»).

В настоящее время стоит задача изменения конструкции неактивной зоны ТГ при замене его водородной системы охлаждения на воздушную систему, не только с целью улучшения технических параметров и повышения их эксплуатационной безопасности, но и повышение конкурентоспособности ТГ 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 турбогенераторов [4, 5], выпускаемых НПО «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 воздушного охлаждения, сохраняя запас по превышению температуры в 2–4 %, что соответствует мировыми стандартами. Кроме того ТГ с ВСО отличаются сравнительной простотой исполнения, требуют меньше затрат материала на производство, обеспечивают высокую безопасность эксплуатации, а так же позволяют осуществить компоновку с газовой турбиной.

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 улучшению этого показателя. Новые разработки конструкций турбоустановок направлены не только на повышение мощности в исходном габарите, на увеличение значения КПД, но 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 таблице 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	300,5	«Электротяжмаш»
ТЗФП-160-2М	160	243	«Электросила»
ТЗФ-220-2	220	268	«Электросила»
ТЗФ-350-2	350	280	«Электросила»

Из данных таблицы следует, что вес ТГ-ров завода «Электротяжмаш» остается довольно высоким в сравнении с российской продукцией [2, 3].

Для уменьшения массы ТГ при переходе от водородного к воздушному охлаждению необходимо вести работы по изменению конструктивных решений неактивной зоны ТГ. В таблице 2 приведены данные (вес и мощность) этих машин. 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:

- необходимость обеспечения достаточной механической прочности конструкции, особенно с учетом повышенной взрывоопасности;
- соблюдение герметичности газового пространства;
- наличие сложных вспомогательных систем при водородной системе охлаждения;
- учет особенностей 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.

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

Таблица 3

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

Таблица 4

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

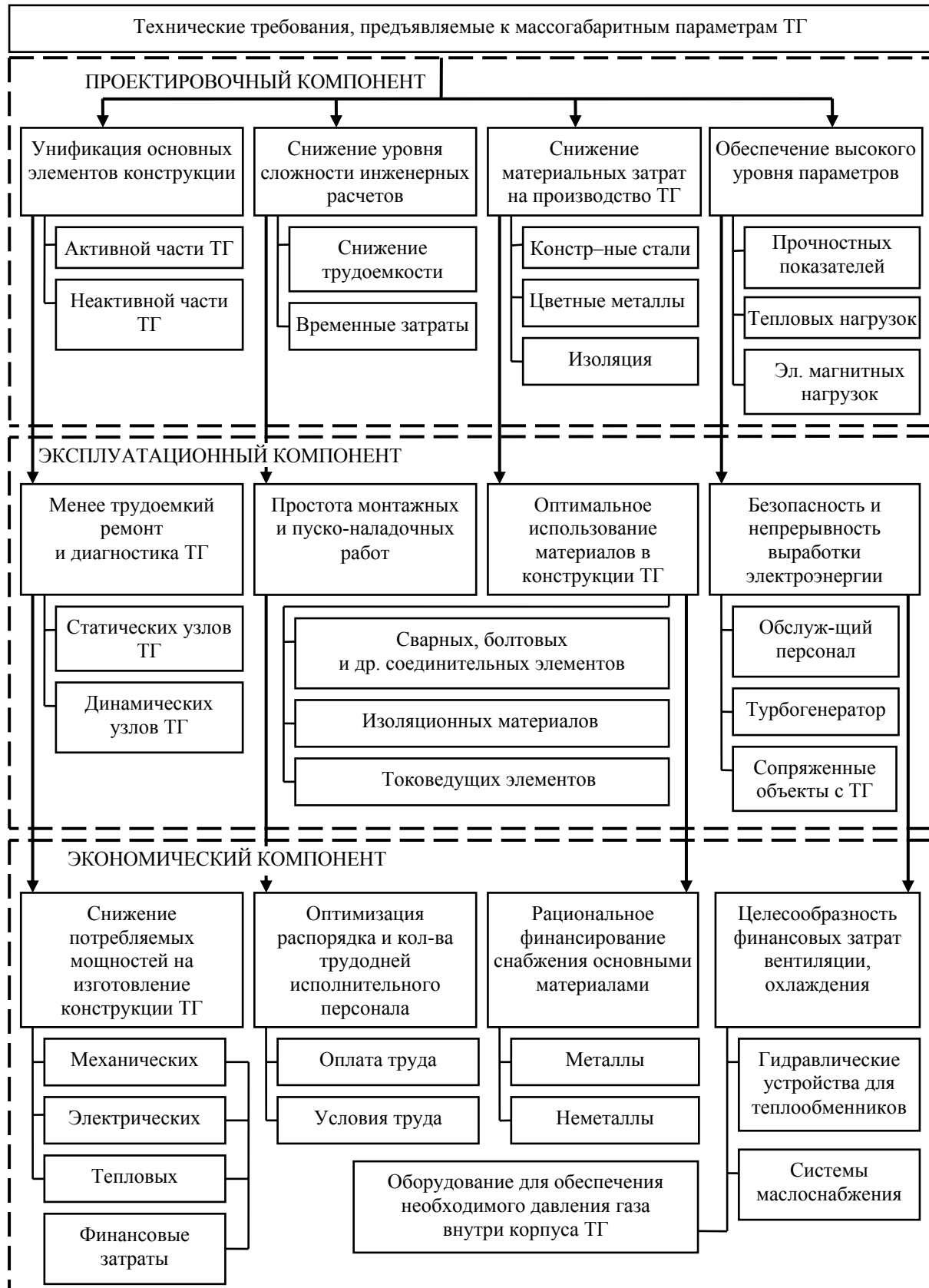


Рис. 1. Основные технические требования к проектированию современных турбогенераторов

В табл. 4 приведены данные массогабаритных показателей трех основных элементов конструкции ТГ: статора, ротора и торцевой части (теплообменник вертикального исполнения отнесен в торцевую зону ТГ).

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

**Выводы:**

1. На основании анализа технических данных и отечественного опыта проектирования электрических машин выделены основные элементы конструкции ТГ, которые определяют его массогабаритные характеристики с воздушной и водородной системами охлаждения.

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 требованиями эксплуатации ТГ с воздушной и водородной системами охлаждения.

4. Установлено, что в ТГ-ах 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. А также, что отказ от service-factora, сделает возможным проектировать новые ТГ с прежними значениями мощности на базе ТГ с водородным охлаждением, но с воздушным охлаждением.

**Список литературы:** 1. *Филиппов И.Ф.* Вопросы охлаждения электрических машин. – М.: Госэнергоиздат, 1974. – 334 с. 2. *Алексеев А.Е.* Конструкция электрических машин. – Киев: Госэнергоиздат, 1968. – 428 с. 3. *Жерве Г.К.* Промышленные испытания электрических машин. – М.: Энергия, 1978. – 574 с. 4. Паспорт теплового расчета турбогенераторов серии ТА, ГП завод «Электротяжмаш». 5. *Рихтер Р.* Электрические машины. В 2-х томах. – М.: Энергия, 1976. – 688 с.

© Шевченко В.В., Минко А.Н., 2010  
Поступила в редколлегию 09.02.10