

УДК.621.313.322

А. Н. МИНКО, инженер-конструктор, магистр
ГП «Электротяжмаш», г. Харьков

СОВРЕМЕННЫЙ КРИТЕРИЙ ОПТИМАЛЬНОСТИ МАССОГАБАРИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ КРУПНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН (ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ)

Проведен анализ массогабаритных параметров конструкции крупных электрических машин. Сформулирован эффективный критерий оптимальности массогабаритных параметров на примере анализа конструкций турбогенераторов с воздушной системой охлаждения. Обоснована взаимосвязь предложенного критерия оптимальности с внутренними характеристиками генератора. Изложены результаты теоретической апробации критерия, на базе которых установлена величина погрешности получаемых данных по критерию.

Ключевые слова: критерий оптимальности, массогабаритные параметры, турбогенератор, анализ конструкции, конкурентоспособность.

Проведено аналіз маса габаритних параметрів конструкції потужних електричних машин. Сформульовано ефективний критерій оптимальності маса габаритних параметрів на прикладі аналізу конструкцій турбогенераторів з повітряною системою охолодження. Обґрунтовано взаємозв'язок запропонованого критерію оптимальності із внутрішніми характеристиками генератора. Викладено результати теоретичної апробації критерію, на базі яких встановлена величина погрешності одержуваних даних за критерієм.

Ключові слова: критерій оптимальності, массогабаритные параметры, турбогенератор, аналіз конструкції, конкурентоспроможність.

Постановка задачи и анализ литературы

Современные достижения в энергетической промышленности стимулируют рост уровня конкуренции на рынке турбогенераторостроения, который выражается в новых технологических и технико-эксплуатационных требованиях к конструкции и функциональности будущего генератора. В связи с этим увеличился интерес к модернизации конструкций турбогенераторов в сторону параметрической оптимизации с целью создания «малозатратного» производства в сочетании с высокой надежностью и длительным сроком службы агрегата [1]. Одним из параметров конструкции крупных электрических машин, учитывающим эффективность использования конструкционных и активных материалов, уровень функциональности и степень трудоемкости производимого турбогенератора, являются его массогабаритные параметры. Для оценки оптимальности массогабаритных параметров современной конструкции крупных электрических машин необходим критерий, который бы охватывал габаритное (объемное) использование конструкции и эффективность использования показателей массы, отнесенные к величине мощности турбогенератора.

Классическим вариантом анализа объемного использования конструкции электрических машин на единицу мощности можно получить при помощи определения ряда машинных постоянных: Арнольда, Видмара, Эссона, Рихтера, Штенфера, Роммеля, Петрова и др. Кроме того, анализу главных (габаритных) размеров и показателям массы электрических машин посвящен ряд научных работ [2, 3, 4], которые рассматривают вопросы рационального выбора массогабаритных параметров электрических машин общего назначения. Однако они не учитывают специфику производства и особенности проектирования предприятия-изготовителя что, в общем-то, требует частного исследования.

Исследованиями геометрии и массогабаритных параметров, отдельно взятых (для более частного проектирования) серий агрегатов (электрических машин, трансформаторов) и уточнением классических зависимостей объемного использования конструкции машины

изложено в [5, 6], однако степень рассмотрения вопроса конструкций крупных электрических машин – незначительна.

Анализ современных научных трудов и инженерной, расчетно-конструкторской, документации выделил несколько соображений, в соответствии с которыми, можно эффективно дать анализ и массогабаритную оценку оптимальности конструкции крупных электрических машин:

– для анализа объемного использования конструкции турбогенераторов в неявном виде, на определенном этапе, эффективно использовать физический смысл машинной постоянной Арнольда;

– анализ и сравнение геометрии машин, с целью определения оптимальности их конструкций, целесообразно осуществлять на показателях активной части турбогенератора (например, задаваясь параметрами сердечник статора);

– для осуществления анализа построением аналитических закономерностей предпочтительно прибегать к степенной зависимости выражения;

– критерий оптимальности не должен ограничиваться рассмотрением только показателем массы и габаритов, а должен учитывать взаимозависимость массогабаритных параметров с внутренними характеристиками машины, иначе анализ будет «плоским»;

– анализ по критерию оптимальности должен проводиться обязательно с учетом таких параметров как: активная мощность, полная мощность либо КПД генератора, как наиболее объективно экономически обоснованные.

Цель данной работы сформулировать современный критерий оптимальности массогабаритных параметров крупных электрических машин (на примере турбогенераторов) с учетом объемного использования, как активной составляющей конструкции, так и корпусной, при этом критерий должен быть отнесен к величине генерируемой мощности, и иметь четкую взаимосвязь с внутренними характеристиками машины.

Основная часть

В процессе оптимизации массогабаритных параметров возникла необходимость сформулировать критерий оптимальности, учитывающий специфику конструкций турбогенераторов с воздушной системой охлаждения, особенности процесса производства и связь конструктивных параметров с энергетическими характеристиками турбогенератора. Таким образом, критерий оптимальности конструкции является сочетанием сложных конструктивно-функциональных параметров турбогенератора, которые имеют прямую взаимосвязь не только с массогабаритными показателями конструкции, но и с электрическими, энергетическими, технологическими, эксплуатационными. Такие параметры, входящие в состав критерия оптимальности, назовем компонентами критерия. Ниже коротко дадим характеристику каждого компонента критерия оптимальности.

1. Компонент, характеризующий габаритность и объемное соотношение конструкции – G_A . Как было отмечено ранее, наиболее простой и эффективный способ оценить объемное использование активной части статора (как наиболее габаритной и массивной части) турбогенератора является машинная постоянная Арнольда, которая в неявном виде дает общее представление о геометрии машины в целом. Для оценки эффективности объемного использования активного металла воспользуемся вышеупомянутой машинной постоянной.

2. Компонент, отображающий эффективность использования показателя массы активного железа статора турбогенератора – G_A .

$$G_A = 5,97 \cdot \left[(2,1 \cdot D_1)^2 - (D_1 + 2 \cdot h_1) \right] \cdot l_{\text{ЭФ}} \cdot 10^{-6} + 7,6 \cdot z_1 \cdot h_1 \cdot l_{\text{ЭФ}} \cdot \left[\frac{\pi \cdot (D_1 + 2 \cdot h_1)}{z_1} - b_1 \right] + \left[\frac{\pi \cdot D_1}{z_1} - b_1 \right] \cdot 10^{-6}; \quad (1)$$

где: D_1 – диаметр расточки сердечника статора, мм;
 z_1 – число пазов статора;

b_l – ширина паза статора, мм; h_l – глубина паза статора, мм; $l_{\text{ЭФ}} = l_1$ – для аксиальной системы охлаждения и $l_{\text{ЭФ}} = l_1 - (a_{\text{П}} \cdot b_{\text{П}})$ – для радиальной системы охлаждения, мм; l_1 – длина сердечника статора, мм; $a_{\text{П}}$, $b_{\text{П}}$ – ширина и количество радиальных вентиляционных каналов охлаждения, мм;

5,97 и 7,6 – весовой эквивалент.

3. Компонент, который следует назвать приведенным коэффициентом удельной массы, является отношением показателя массы активного железа к полной мощности турбогенератора (P_s). Фактически данный компонент вытекает из предыдущего компонента критерия оптимальности и математически имеет вид, кг/кВт:

$$k_{\text{П}} = \frac{G_A}{P_s} \quad (2)$$

Объединив вышеупомянутые компоненты через активную мощность турбогенератора (P_A) степенной зависимостью, получим **критерий оптимальности массогабаритных параметров** крупных электрических машин (турбогенераторов):

$$P_A \approx 2 \cdot C_A^{k_{\text{П}}} \quad (3)$$

Данный критерий полностью и, сравнительно, точно описывает степень использования активного железа и габаритные показатели конструкции крупных турбогенераторов с воздушной системой охлаждения. Кроме того, данный критерий оптимальности справедлив и для турбогенераторов с водородной системой охлаждения, исключением является: n – дополнительный коэффициент функциональности, а критерий выглядит следующим образом:

$$P_A \approx n \cdot C_A^{k_{\text{П}}}, \quad (4)$$

где коэффициент n – различный для разного диапазона мощности турбогенератора; так, например, для турбогенераторов мощность до 150 МВт $n \approx 0,85$; для 150-250 МВт $n \approx 1,1$; для 250-350 МВт $n \approx 0,5$; для 350-500 МВт $n \approx 1,2$. Значение коэффициента указаны для турбогенераторов конструкций производства ГП «Электротяжмаш», дополнительный анализ конструкций других заводов-производителей позволит унифицировать значение данного коэффициента с целью адаптации предлагаемого критерия оптимальности к разным исполнениям турбогенераторов.

Проецируя современную технико-экономическую закономерность, предложенную Кузьминым В. В. [7], о долях соотношения массогабаритных параметров активной части к общему показателю массогабаритности турбогенератора: $G_s = (1,5 \div 1,6) \cdot G_A$, на предложенный критерий оптимальности, получим следующую зависимость:

$$G_s = (1,5 \div 1,6) \cdot 2 \cdot C_A^{k_{\text{П}}} \cdot k_{\text{П}} \cdot \cos \varphi + G_r, \quad (5)$$

где, G_s – полный вес турбогенератора, кг; G_A – вес активного железа турбогенератора, кг; G_r – полный вес ротора, кг.

Предложенный критерий оптимальности имеет четко выраженную взаимосвязь с рядом электрических (A_l , B_δ , j) и энергетических (P_A , ΣQ_d , η) параметров турбогенераторов. Рассмотренная ниже взаимосвязь предложенного критерия оптимальности с внутренними (эксплуатационными) характеристиками турбогенератора строилась из соображений анализа турбогенераторов с воздушной системой охлаждения условно серийной конструкции, и отдельно взятого предприятия-производителя (ГП завод «Электротяжмаш»), в связи с этим, для получения обобщенных данных, возможно, будет необходимо уточнение (либо ввод) ряда вспомогательных коэффициентов.

С целью обосновать взаимосвязь предложенного критерия оптимальности с внутренними характеристиками турбогенератора, по результатам анализа серийных конструкций турбогенераторов с воздушной системой охлаждения выделим ряд допущений (констант, в рамках серийного ряда), присущих исследуемым конструкциям:

1. Число эффективных проводников в пазу статора $S_{nl} = const$;
2. Количество параллельных ветвей обмотки статора $a_1 = const$;
3. Количество последовательных витков в пазу статора $w_1 = const$;
4. Число пазов на полюс и фазу $q_1 = const$;
5. Отношение обмотанной поверхности ротора к полной $\gamma = const$;
6. Коэффициент заполнения сердечника – $const$;
7. Все исследуемые турбогенераторы – двухполюсные, т.е. $p = 1$;

С учетом изложенных допущений сформулируем взаимосвязь предложенного критерия оптимальности массогабаритных параметров с внутренними характеристиками турбогенератора:

I. Электрические параметры:

– Линейная нагрузка статора, A :

$$A_1 \approx \frac{14 \cdot C_A^{k_{пн}} \cdot 10^4}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \pi \cdot D_1 \cdot \cos \varphi}; \quad (6)$$

– Магнитная индукция в воздушном зазоре, $Tл$:

$$B_\delta \approx \frac{3,1 \cdot C_A^{k_{пн}} \cdot 10^7}{1,06 \cdot \sqrt{3} \cdot I_1 \cdot (D_1 - \delta) \cdot (l_1 + 2 \cdot \delta) \cdot \cos \varphi}; \quad (7)$$

– Плотность тока в обмотки статора, $A/мм^2$:

$$j \approx \frac{2 \cdot C_A^{k_{пн}} \cdot 10^3}{3 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H \cdot (q_{CA} + q_{NA}) \cdot \cos \varphi}; \quad (8)$$

В вышеупомянутых уравнениях обозначено:

U_H – номинальное напряжение обмотки статора, $кВ$;

I_H – номинальный ток обмотки статора, A ;

D_1 – диаметр расточки сердечника статора;

l_1 – длина сердечника статора, $мм$;

δ – односторонний воздушный зазор, $мм$;

q_{CA} – площадь сечения меди полых элементарных проводников, $мм^2$; q_{NA} – площадь сечения меди сплошных элементарных проводников, $мм^2$;

$\cos \varphi$ – номинальный коэффициент мощности, $о.е.$.

Многие данные величины используются при расчете самого критерия оптимальности, так что дополнительных данных для расчета зависимостей не потребуется (что в значительной мере снижает трудоемкость расчетов).

II. Энергетические параметры:

– Сама форма критерия оптимальности представлена взаимосвязью с активной мощностью турбогенератора, $кВт$ (3).

– Сумма добавочных потерь (короткого замыкания и холостого хода), $кВт$:

$$\sum Q_d \approx \frac{5,6 \cdot C_A^{k_{пн}} \cdot D_1 \cdot 10^{-7}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \pi \cdot \cos \varphi} + \left[\frac{5,6 \cdot C_A^{k_{пн}} \cdot D_1 \cdot 10^{-7}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \pi \cdot \cos \varphi} \cdot \left(\frac{i_0}{i_k} \right)^2 \right]; \quad (9)$$

– Коэффициент полезного действия турбогенератора, *о.е.*:

$$\eta \approx 1 - \frac{\sum Q}{(2 \cdot C_A^{k_{п}}) - \sum Q}; \quad (10)$$

В вышеупомянутых уравнениях обозначено: i_0 – ток ротора при холостом ходе и номинальном напряжении, A ; i_k – ток ротора при коротком замыкании и номинальном токе статора, A ;

ΣQ_d – сумма добавочных потерь при коротком замыкании и холостом ходе, κBm ; ΣQ – сумма потерь по генератору, κBm .

Предварительные результаты оценки эффективности предлагаемого критерия оптимальности массогабаритных параметров турбогенераторов с воздушной системой охлаждения отображены в табл. 1.

Таблица 1

Предварительные результаты оценки эффективности предлагаемого критерия оптимальности массогабаритных параметров

Тип турбогенератора	Мощность, κBm		D_l , мм	l_l , мм	C_A	$k_{п}$, кг/ κBm	$P_A \approx 2 \cdot C_A^{k_{п}}$
	P_A	P_S					
1	2	3	4	5	6	7	8
ТА-80	80000	100000	1090	3370	12011,7	0,393	80225
ТА-120	120000	150000	1300	3370	11390,6	0,439	120740
ТА-135	135000	168759	1300	3570	10725,8	0,454	135160
ТА-145	145000	181250	1300	4000	11188,96	0,46	145700
ТА-160	160000	188235	1300	3370	90768,98	0,384	160280
ТА-225	225000	264706	1300	4970	95192,03	0,412	225020
ТА-325	325000	382353	1300	6070	804882	0,374	323425
ТА-360	360000	450000	1920	6100	1499136	0,365	359010

В таблице выше, обозначено: P_A – активная мощность, κBm ; P_S – полная мощность, κBm ;

D_l – диаметр расточки сердечника статора; l_l – длина сердечника статора, мм;

C_A – машинная постоянная Арнольда;

$k_{п}$ – приведенный коэффициент удельной массы, кг/ κBm ;

$P_A \approx 2 \cdot C_A^{k_{п}}$ – критерий оптимальности.

Данные со второй и восьмой колонки свидетельствуют о том, что критерий оптимальности подтверждает свою эффективность, а вышеизложенная взаимосвязь с внутренними параметрами имеет небольшую трудоемкость расчетов и доступность их использования.

Апробация предложенного критерия оптимальности, проводилась при анализе конструкций турбогенераторов с воздушной системой охлаждения, двухполюсного исполнения (3000 об/мин) условно серийного ряда, завода-производителя ГП «Электротяжмаш». Истинность критерия, его адекватность и функциональность, можно установить сравнительным анализом геометрии конструкций: действительной (расчетной) и по параметру критерия. В соответствии с предложенным критерием оптимальности, выделим начальные данные для апробации предложенной закономерности в процессе сравнительного анализа конструкций турбогенераторов.

– система вентиляции тангенциально-радиальная, охлаждение обмотки статора – косвенное, в зубцовой зоне сердечника статора имеются аксиальные каналы;

– число пазов, параллельных ветвей обмотки статора, количество эффективных проводников в пазу, последовательных витков в обмотке – является константой для всего спектра машин;

– остальные конструктивные данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Конструктивные данные анализируемых турбогенераторов участвующих в апробации

Тип турбогенера-тора	P_A МВт	$\cos \varphi$	U_H В	I_H А	δ мм	D_1 мм	D_a мм	l_1 мм	D_2 мм	l_2 мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ТА-80	80000	0,8	10500	5499	50	1090	2020	3370	990	3400
ТА-120	120000	0,8	10500	5250	50	1300	2800	3370	1200	3400
ТА-135	135000	0,8	11000	8857	50	1300	2800	3570	1200	3600
ТА-145	145000	0,8	15750	6640	50	1300	2800	4000	1200	1050
ТА-160	160000	0,85	15750	6900	50	1300	2800	3370	1200	3400
ТА-225	225000	0,85	15750	9703	50	1300	2800	4970	1200	5000
ТА-325	325000	0,85	20000	11038	50	1300	2800	6070	1200	6100
ТА-360	360000	0,8	15750	16496	60	1920	3300	6100	1200	6150

В таблице выше, обозначено:

P_A – активная мощность, кВт; $\cos \varphi$ – номинальный коэффициент мощности, о.е.

U_H – номинальное напряжение обмотки статора, кВ;

I_H – номинальный ток обмотки статора, А;

δ – односторонний воздушный зазор, мм;

D_1 – диаметр расточки сердечника статора; D_a – диаметр спинки сердечника статора;

D_2 – рабочий диаметр ротора, мм;

l_1 – длина сердечника статора, мм; l_2 – длина ротора, мм.

Расчет критерия оптимальности массогабаритных параметров проводился по выражениям (1–5). Результаты анализа отображены в табл. 3.

В табл. 3 обозначено: P_A – активная мощность, кВт; P_S – полная мощность, кВт;

G_r – полный вес ротора, кг; G_A – вес активного железа турбогенератора (расчетный), кг;

G'_A – вес активного железа турбогенератора по критерию оптимальности, кг; $g_A = G_A - G'_A$:

разность расчетного веса активного железа с весом по критерию оптимальности, кг; G_S –

общий вес турбогенератора (расчетный), кг; G'_S – общий вес турбогенератора по критерию

оптимальности, кг; $g_S = G_S - G'_S$: разность расчетного общего веса турбогенератора с весом

по критерию оптимальности, кг.

$$P_A \approx 2 \cdot C_A^{k_n} \text{ – критерий оптимальности;}$$

По результатам (колонка 8 и 11, табл. 3.) анализа можно утверждать что, существующая линейка конструкций турбогенераторов с воздушной системой охлаждения по своим показателям массогабаритности и степени эффективности использования металла значительно завышены и уступают машинам зарубежного производства. Как было отмечено ранее, вследствие завышения массогабаритных параметров резко падает конкурентоспособность турбогенераторов на энергомашиностроительном рынке сбыта.

Таблица 3
 Результаты сравнительного анализа массогабаритных параметров конструкции турбогенераторов с воздушной системой охлаждения

Тип турбогенератора	Мощность, МВт		$G_r, кг$	$P_A \approx 2 \cdot C_A^{k_{\eta}}$	Анализ массы активного железа, кг			Анализ общей массы, кг		
	P_A	P_S			G_A	G'_A	g_A	G_S	G'_S	g_S
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ТА-80	80000	100000	34000	80225	40272	39500	772	160000	125161	34838
ТА-120	120000	150000	51000	120740	84320	65850	18470	245000	199922	45078
ТА-135	135000	168759	45000	135160	90474	76612	13862	210000	207504	2496
ТА-145	145000	181250	51000	145700	101953	83375	18578	240000	229795	10204
ТА-160	160000	188235	51000	160280	85447	72282	13165	305000	210412	94587
ТА-225	225000	264706	65000	225020	127564	109059	18505	327000	296787	30213
ТА-325	325000	382353	74000	323425	162059	143000	19059	385000	347905	37095
ТА-360	360000	450000	81000	359010	169830	164250	5580	410000	400953	9047

Предложенный критерий оптимальности массогабаритных параметров подтверждает ранее выдвинутую гипотезу [7] о несбалансированности показателя массы и величины рабочих габаритов с энергетическими характеристиками турбогенератора. Это связано с рядом конструктивных причин, и в первую очередь – несовершенством конструкции неактивной части турбогенератора, кроме того, и активная часть турбогенератора так же имеет свои недостатки.

Оценка погрешностей предложенного критерия оптимальности выполнена на основании следующих соображений. Невозможно предложить реальный параметр оптимальности (геометрический размер, величина тока, уровень напряжения и т. д.), абсолютно точно отображающий эффективное использование массогабаритных характеристик машиностроительной конструкции, а зависимость $P_A \approx 2 \cdot C_A^{k_{\eta}}$ только приближается к нему с минимальной погрешностью. С другой стороны всегда известны эксплуатационные и габаритные показатели конструкции (реальной машины либо расчетные на стадии проектирования), поэтому будем считать погрешностью Δ отношение между двумя величинами: реальными (расчетными) и полученными по предложенному критерию оптимальности.

Погрешность критерия оптимальности в аналитическом виде имеет следующее выражение:

$$\Delta = 1 - \left| \frac{2 \cdot C_A^{k_{\eta}}}{P_A} \right| \cdot 100 \% \tag{11}$$

Величина погрешности Δ для рассматриваемого диапазона мощности приведена в графическом виде на рис. 1.

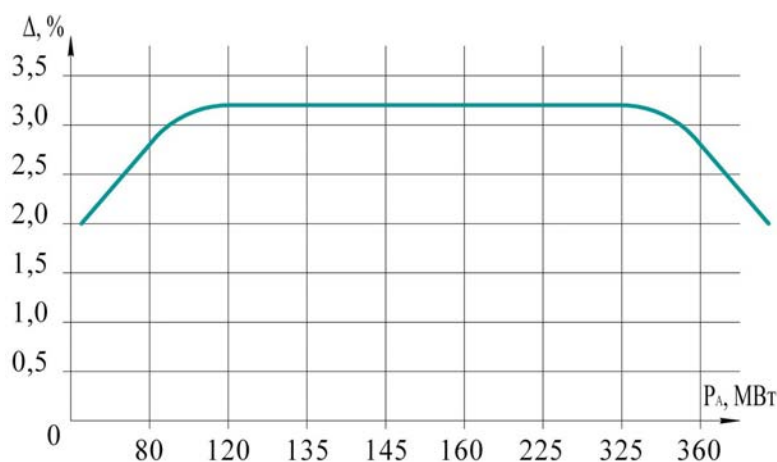


Рис. 1. Погрешность расчета критерия оптимальности Δ

Погрешность взаимосвязи критерия оптимальности с линейной нагрузкой турбогенератора составляет:

$$\Delta_A = 1 - \left[\frac{1,4 \cdot C_A^{k_{II}} \cdot 10^4}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \pi \cdot D_1 \cdot \cos \varphi} \right] / A_1 \cdot 100 \% . \quad (12)$$

Погрешность взаимосвязи критерия оптимальности с магнитной индукцией в воздушном зазоре составляет:

$$\Delta_B = 1 - \left[\frac{3,01 \cdot C_A^{k_{II}} \cdot 10^7}{1,06 \cdot \sqrt{3} \cdot I_1 \cdot (D_1 - \delta) \cdot (l_1 + 2 \cdot \delta) \cdot \cos \varphi} \right] / B_\delta \cdot 100 \% . \quad (13)$$

Погрешность взаимосвязи критерия оптимальности с плотностью тока в обмотке статора составляет:

$$\Delta_j = 1 - \left[\frac{2 \cdot C_A^{k_{II}} \cdot 10^3}{3 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H \cdot (q_{CA} + q_{NA}) \cdot \cos \varphi} \right] / j \cdot 100 \% \quad (14)$$

Результаты расчета погрешности взаимосвязей критерия оптимальности с электрическими (Δ_A , Δ_B , Δ_j) характеристиками турбогенератора графически отображены на рис. 2., рис. 3., рис. 4.

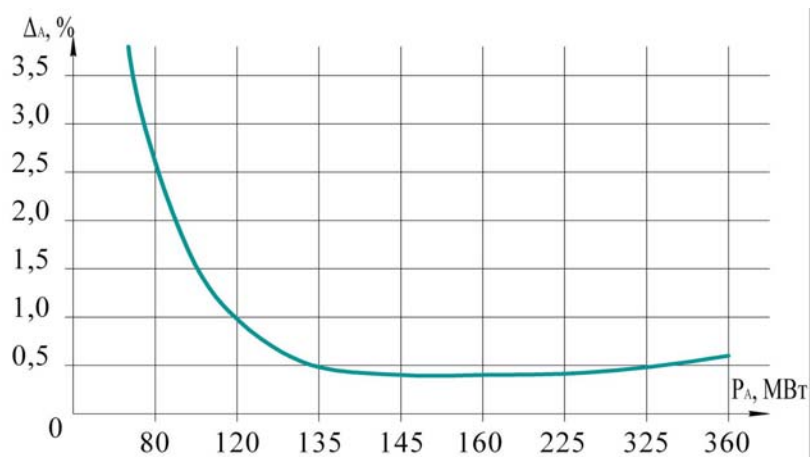


Рис. 2. Погрешность расчета взаимосвязи критерия оптимальности ΔA с линейной нагрузкой

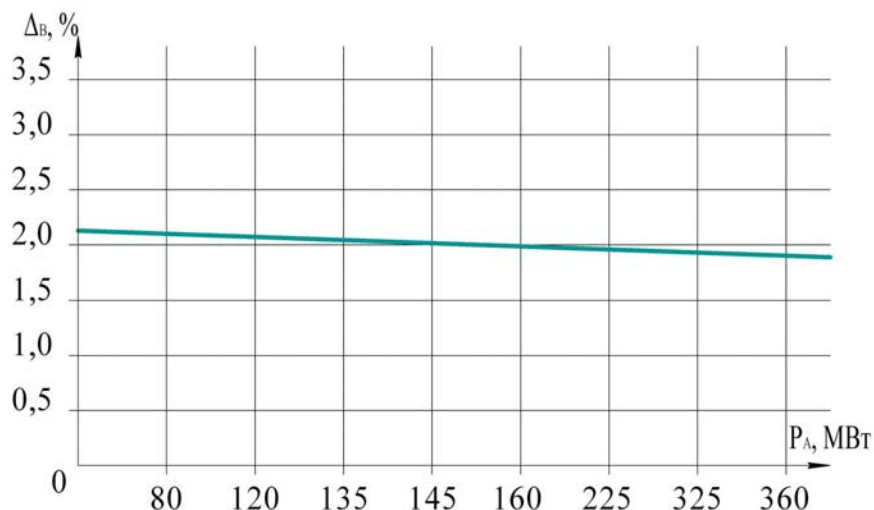


Рис. 3. Погрешность расчета взаимосвязи критерия оптимальности Δв с магнитной индукцией в воздушном зазоре

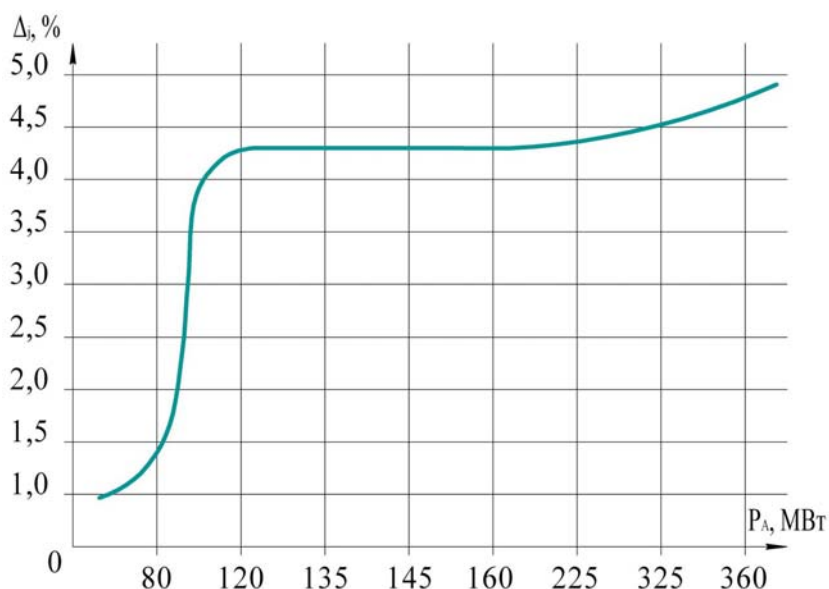


Рис. 4. Погрешность расчета взаимосвязи критерия оптимальности Δj с плотностью тока в обмотке статора

Среди выделенных энергетических взаимосвязей (P_A , ΣQ_d , η) ограничимся рассмотрением суммы добавочных потерь, т.к. сам критерий описывает взаимосвязь с активной мощностью и величина его погрешности рассмотрена выше, а КПД генератора зависит от ряда факторов при испытаниях и определение погрешности его взаимосвязи с предложенным критерием оптимальности будет технически некорректным. Погрешность взаимосвязи критерия оптимальности с суммой добавочных потерь (короткого замыкания и холостого хода), составляет:

$$\Delta_Q = 1 - \left(\frac{5,6 \cdot C_A^{k_n} \cdot D_1 \cdot 10^{-7}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \pi \cdot \cos \varphi} + \left[\frac{5,6 \cdot C_A^{k_n} \cdot D_1 \cdot 10^{-7}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \pi \cdot \cos \varphi} \cdot \left(\frac{i_0}{i_k} \right)^2 \right] \right) / \Sigma Q_d \cdot 100 \% . \quad (15)$$

Величина погрешности ΔQ для рассматриваемого диапазона мощности приведена в графическом виде на рис. 5.

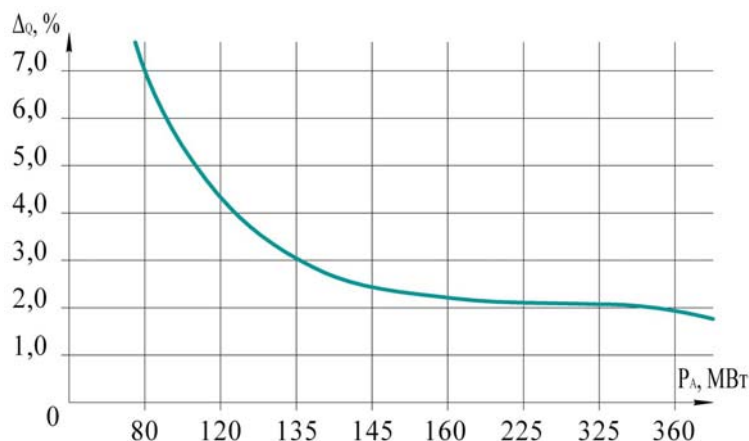


Рис. 5. Погрешность расчета взаимосвязи критерия оптимальности Δ_Q с суммой добавочных потерь (короткого замыкания и холостого хода)

Выводы

1. Проведенный анализ массогабаритных параметров конструкции турбогенераторов с воздушной системой охлаждения, производства ГП «Электротяжмаш» свидетельствует о том, что конструкция машин далека от оптимальности, и имеет завышенные показатели массы и рабочих габаритов. При помощи предложенного критерия оптимальности установлена разница между имеющимися показателями и оптимальными для машин данного класса (см. табл. 3, колонка 8 и 11).

2. По результатам анализа существующих методик оценки массогабаритных параметров машиностроительных конструкций сформулирован современный критерий оптимальности, который дает представление об эффективности объемного использования конструкции и величины массы, как активной составляющей конструкции, так и неактивной (корпусной, вспомогательной). Предложенный критерий оптимальности основан на физическом смысле машинной постоянной Арнольда, прост в применении, и предоставляет, довольно точные сведения о конструкции.

3. Установлена взаимосвязь предложенного критерия оптимальности с внутренними (электрическими и энергетическими) характеристиками турбогенератора. По результатам теоретической апробации определена величина погрешности расчета предложенного критерия оптимальности и его взаимосвязи с внутренними характеристиками турбогенератора. Таким образом, погрешность определения критерия оптимальности составляет приблизительно 3 %, погрешность взаимосвязи критерия с линейной нагрузкой статора составляет около 1 %, с магнитной индукцией в воздушном зазоре – 2 %, с плотностью тока в обмотке статора – 4 %, и с суммой добавочных потерь (короткого замыкания и холостого хода) около 3 %.

4. С помощью предложенного критерия оптимальности можно произвести анализ массогабаритных параметров, как действующих турбогенераторов, так и находящихся в проекте. При дальнейшей проработке конструкций турбогенераторов можно расширить функциональные возможности предложенного критерия в сторону комплексного анализа параметров конструкции.

Список литературы

1. Минко А. Н. Массогабаритные параметры турбогенераторов с воздушной и водородной системами охлаждения как основной показатель конкурентоспособности турбогенератора, Проблемы машиностроения, 2010, № 4. С. 9 – 14.
2. Балагуров В. А. Проектирование специальных электрических машин переменного тока. – М.: Высш. школа, 1982. – 272 с.
3. Конохов Н. Н. Выбор главных размеров и геометрии активных частей электрических машин при разных концепциях развития их конструкции. //Электротехника і електромеханіка,

2010, № 1, С. 20 – 23.

4. Журавлев В. Н. Снижение веса машиностроительных конструкций. – Свердловск, 1961, – 240 с.

5. Атэф Салех Отман Аль-Машакбех. Уточнення взаємозв'язку між геометричними та енергетичними параметрами серії електричних машин та визначення їх оптимальності. Автореф. дис. канд. техн. наук. 05.09.01./ДГТУ, Донецьк. – 2000. – 19 с.

6. Абдула Мохаммед Махмуд Аль-Зурейгат. Функціональний взаємозв'язок масогабаритних і енергетичних параметрів трансформаторів. Автореф. дис. канд. техн. наук. 05.09.01./ДГТУ, Донецьк. – 2010. – 19 с.

7. Кузьмин В. В. Сравнительный анализ технического уровня и конкурентоспособности продукции завода и ведущих зарубежных фирм («Электросила», «Уралэлектротяжмаш», «Элсиб», «Альстом», «Сименс» и др.) Отчет ТХ.111–381. – ГП Электротяжмаш 2009, 14 с.

MODERN CRITERION OF OPTIMALITY OF WITH LARGE OVERALL OF PARAMETERS OF ELECTRIC BIG-TICKETS (TURBOGENERATORS)

A. N. MINKO, engineer-designer, master's

The Organized analysis mass-gabarit parameter to designs of the large electric machines. The efficient criterion optimum mass-gabarit parameter is Worded on example of the analysis design turbo-alternator with air system of the cooling. Motivated intercoupling offered criterion optimum with internal feature of the generator. The Stated results to theoretical approbation criterion, on the base which is installed value to inaccuracy got given on criterion.

Keywords: *criterion of optimality, масогабаритные parameters, turbogenerator, analysis of construction, competitiveness.*

Поступила в редакцию 11. 05 2011 г.