

УДК 621.313.322.

А.Н. МИНКО, аспирант; инженер ГП «Электротяжмаш», Харьков;
В.В. КУЗЬМИН, д-р техн. наук; проф. УИПА, Харьков;
В.В. ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук; доц. НТУ «ХПИ»

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МАССОГАБАРИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ С УРОВНЕМ ТРУДОЕМКОСТИ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

Проведен анализ способов унификации элементов конструкции турбогенератора, выделена параметрическая связь между массогабаритными показателями его конструкции и уровнем трудоемкости его производства. Проанализированы основные направления и методы проведения конструктивной унификации турбогенераторов с воздушной системой охлаждения с целью оптимизации его массогабаритных параметров без увеличения уровня трудоемкости в производстве.

Проведено аналіз значення уніфікації елементів конструкції, виділено параметричний зв'язок маси і габаритних показників конструкції, рівня трудомісткості її виробництва. Інтерпретовано послідовність основних напрямків і методи здійснення конструктивної уніфікації для турбогенераторів з повітряною системою охолодження з метою оптимізувати масо-габаритні параметри, без збільшення рівня трудомісткості в виробництві.

The Organized analysis to value to unifications element to designs, is chosen parametric relationship size of mass- factors to designs and level to labors content her production. The Interpreted sequence of the main trends and methods of the realization to constructive unification for turbo-alternator with air system of the cooling for the reason, optimize the size mass- parameters, without increase level to labors content in production.

Введение.

При оптимизации массогабаритных параметров и эффективности использования материалоемкости конструкции, [1, 2], турбогенератора (ТГ) важно установить степень трудоемкости изготовления будущего турбоагрегата. Основными технологическими операциями, используемых при изготовлении ТГ, безусловно, являются: литье (цветное и черное), механическая обработка (мелких и крупных деталей), штамповка, сварочные работы и др. В зависимости от уровня технической оснащённости предприятия вышеупомянутые технологические операции имеют свою трудоемкость, [3]. Кроме того, степень трудоемкости производства деталей современных ТГ функционально связана с показателями основных габаритов и, как следствие, с массой турбогенератора. Так, например, для интенсификации воздушной системы охлаждения турбогенераторов увеличивают рабочую площадь теплообменников (воздухоохладителей) и диаметр рабочего колеса центробежного вентилятора, что влечет за собой увеличение габаритов торцевой зоны ТГ в целом. Такие изменения в конструкции сопровождаются увеличением степени трудоемкости производства деталей и узлов ТГ.

Основной материал.

Технологичность конструкции – это залог качества будущей электрической машины, обеспечивающий минимизацию затрат на ее изготовление и наибольшую экономическую эффективность в эксплуатации. Она также подтверждает соблюдение технических, производственных и социальных требований, предъявляемых к турбогенераторам. Технологичность конструкции – комплексное понятие, учитывающее требования всех стадий технологического процесса. Объективная оценка технологичности конструкции может быть определена с помощью показателей

стандартизації, уніфікації, преемственности, повторяемости, а также показателей, характеризующих ее трудоемкость, материалоемкость, себестоимость и др. [4].

Трудоемкости вновь спроектированной конструкции в производстве, чаще всего, рассчитывается по методу подобия путем сравнения с освоенными в производстве конструктивно-подобными деталями:

$$\tau \approx \tau_n \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{G}{G_n}\right)^2}, \quad (1)$$

где τ – трудоемкость изготовления детали спроектированной конструкции;

τ_n – то же подобной детали, освоенной производством;

G – чистый вес детали спроектированной конструкции, в кг;

G_n – чистый вес подобной детали уже освоенной производством, в кг.

Как видно из выражения (1), зависимость уровня трудоемкости от массы конструкции изделия (в нашем случае – турбогенератора) нелинейна и применима только в случае существования конструктивно подобных турбогенераторов.

В связи с необходимостью оптимизации массогабаритных параметров конструкций современных турбогенераторов для повышения их конкурентоспособности, трудоемкость конструкции по методу относительной трудоемкости определяется на основании данных трудоемкости, приходящейся на единицу веса изделия однотипных существующих конструкций (нормо-час/тонну).

$$\text{Относительная трудоемкость} = \frac{\text{трудоемкость изделия}}{\text{вес изделия}}. \quad (2)$$

Зная вес вновь спроектированной конструкции и трудоемкость в нормо-часах, приходящую на 1 т веса однотипной конструкции, находят, укрупнено, ее общую трудоёмкость:

$$T_{\text{общ}} = G \cdot t, \quad (3)$$

где $T_{\text{общ}}$ – общая трудоемкость вновь спроектированной конструкции, нормо-час;

G – чистый вес конструкции, в т;

t – относительная трудоемкость однотипной конструкции, в нормо-час/т.

Общая трудоемкость, определяемая данным методом, позволяет сравнивать вновь спроектированные конструкции с существующими и принимать решения для уменьшения ее трудоемкости в процессе проектирования.

На предприятиях, при оценке рентабельности конструкций турбогенераторов, используют показатель стандартизации, который определяют по параметрам:

1) Y – отношением суммарного количества « n » унифицированных деталей в машине к их общему количеству N ;

2) Y' – отношением суммарного количества унифицированных наименований деталей в машине « n » к общему количеству наименований деталей N ;

3) Y_W – отношением веса всех унифицированных деталей в машине « g » к общему весу машины G ;

4) Y_T – отношением суммарной трудоемкости изготовления унифицированных деталей t к общей трудоемкости машины T .

Каждый из этих показателей характеризует степень унифицированности изделий: первые два говорят о количестве унифицированных показателей, но не дают представления об их весе и трудоемкости; вторые два определяют весовые характеристики и характеристики трудоемкости показателей унификации. Оценка уровня унификации будет более всесторонней, если учитывать в одном показателе все

четыре коэффициента. Поэтому используем зависимость:

$$Y_k = \frac{g \cdot C_s + t \cdot h}{G \cdot C_z + T \cdot h}, \quad (4)$$

где g – вес унифицированных деталей, т;
 C_s – средняя стоимость единицы веса материалов и унифицированных деталей, у.е;
 t – трудоемкость изготовления унифицированных деталей, нормо-час/т;
 h – средняя стоимость одного нормо-часа;
 G – вес электрической машины, т;
 C_z – средние затраты на изготовление единицы веса электрической машины, у.е;
 T – трудоемкость изготовления всей конструкции, нормо-час/т.

Согласно данным ГП «Электротяжмаш» (г. Харьков, Украина), в среднем в турбогенераторе (ТГВ-300-2-У3) около 18000 конструктивных элементов, из которых 6800 являются унифицированными и весят 115 т, при полном весе машины $G \approx 280$ т; трудоемкость изготовления всех деталей турбогенератора $T = 4500$ нормо-часов, а трудоемкость изготовления унифицированных деталей $t = 1500$ нормо-час; стоимость одной тонны материала по унифицированным деталям (C_s) в среднем равна $70 \cdot 10^3$ у.е., по машине в целом (C_z) – $60 \cdot 10^3$ у.е., стоимость одного нормо-часа (h) по заводу равна – $15 \cdot 10^3$ у.е.

Остальные параметры конструкций ТГ с воздушной системой охлаждения приведены в табл., где обозначено: P_A – активная мощность; D_1 – наружный диаметр сердечника статора; l_1 – длина сердечника статора; D_2 – диаметр ротора; l_2 – длина бочки ротора; G – масса ТГ; N – количество деталей.

Таблица

Некоторые параметры конструкций ТГ с воздушной системой охлаждения

Тип турбогенератора	P_A , кВт	Статор		Ротор		G , кг	N
		D_1 , мм	l_1 , мм	D_2 , мм	l_2 , мм		
ТА-80	80000	2020	3370	990	3400	160000	14400
ТА-100	100000	2154	3720	990	3750	185000	16200
ТА-120	120000	2800	3370	1200	3400	210000	17100
ТА-140	140000	2800	3370	1200	3400	240000	17460
ТА-160	160000	2800	4000	1200	4050	305000	18540
ТА-220	220000	2800	4970	1200	5000	327000	18900
ТА-325	325000	2800	6070	1200	6100	385000	19800
ТА-360	360000	3300	6100	1800	6250	410000	21600

В первом приближении проведем расчет усредненного показателя стандартизации ТГ и оценку уровня унификации его изготовления, рассчитав показатели:

$$Y = \frac{n}{N} = \frac{6800}{18000} = 0,38; \quad Y_w = \frac{g}{G} = \frac{115}{280} = 0,41; \quad Y_T = \frac{t}{T} = \frac{1500}{4500} = 0,33;$$

$$Y_k = \frac{g \cdot C_s + t \cdot h}{G \cdot C_z + T \cdot h} = \frac{(115 \cdot 70 \cdot 10^3) + (1500 \cdot 15 \cdot 10^3)}{(280 \cdot 60 \cdot 10^3) + (4500 \cdot 15 \cdot 10^3)} = 0,36.$$

Т.е. турбогенератор имеет 36 % унифицированных, относительно легких и мало трудоемких деталей (их вес составляет, согласно данным ГП «Электротяжмаш», 41 % от общего веса, а трудоемкость изготовления – только 36 % от трудоемкости

изготовления всех деталей турбогенератора). При проектировании новой конструкции ТГ необходимо будет сравнить значения его коэффициентов унификации с показателями ранее изготавливаемых турбогенераторов.

Для более полной оценки уровня стандартизации вновь спроектированного турбогенератора следует рассчитать следующие показатели:

- коэффициент применяемости деталей и узлов;
- коэффициент повторяемости деталей и узлов;
- комплексный коэффициент стандартизации деталей и узлов.

Эффективность унификации на стадии подготовки производства выражается в снижении трудоемкости проектных работ и сокращении сроков разработки технической документации. Последовательность основных направлений, область применения и методы осуществления конструктивной унификации при производстве турбогенераторов приведены на рис., [5].

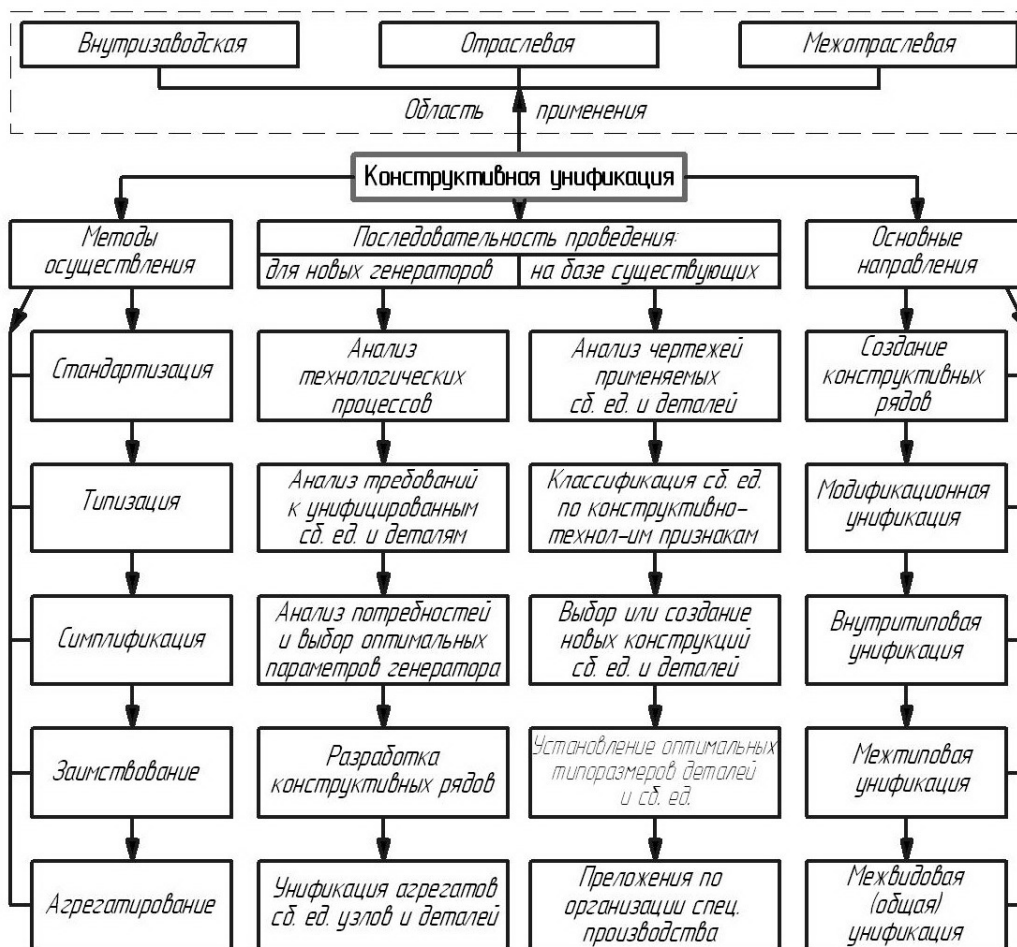


Рис. Область применения и основные направления конструктивной унификации

Данная структурная схема справедлива для любой электромеханической конструкции и не зависит от уровня оснащённости предприятия.

На основании проведенного обзора аналитических средств анализа, сформулируем предварительный, перечень мероприятий направленных на повышение уровня технологичности конструкции ТГ:

– обеспечение дифференцированного ряда сортиментов заготовок/профилей (поковка, лист, круг, шестигранник, труба, швеллер, прутки и т.д.), материала на складе либо отделе снабжения предприятия;

– использование современного парка станков термической и механической обработки, с высоким показателем экономичности расходного материала на деталь;

– разработка (выбор) оптимальной геометрии детали, изготавливаемой штамповкой, путем критичного анализа конструкторской документации и технологического процесса предприятия;

– выполнение сварочных работ с сокращением времени работ и объема расходных материалов, путем эффективного расчета механических напряжений в узле и определения запаса прочности свариваемого шва (например, методом конечных элементов);

– на основании многогранного анализа малоответственных элементов конструкции исключить использование поковок в пользу обычной листовой стали.

Выводы:

1 Уровень трудоемкости производства конструкции современных турбогенераторов в незначительной степени зависит от серийности выпуска деталей, однако имеет жесткую зависимость от массогабаритных показателей конструкции.

2 Параметрическая связь уровня трудоемкости производства конструкции с показателями массы турбогенератора имеет не линейную зависимость и предварительно определяется только в первом приближении и только с учетом информации о технологичности подобных конструкций освоенных в производстве.

3 Одним из эффективных способов сбалансировать уровень трудоемкости производства конструкции турбогенераторов является унификация деталей и узлов в рамках выпуска серийного ряда машин.

4 Относительная симметрия конструкции машины (торцевые зоны, подшипники, система охлаждения и др.) позволит эффективно осуществить унификацию элементов конструкции, снижая трудоемкость ее производства и оптимизировать показатели веса и габаритов турбогенератора.

5 Развитая дифференциация стандартизированных деталей в сочетании с эффективным сортиментом профилей материалов-заготовок в разы повысит коэффициент использования конструкционного материала и заметно уменьшит степень трудоемкости и временные рамки производства турбогенераторов.

Список литературы: 1. Кузьмин, В.В. Об оптимальном использовании материалов и снижении массогабаритных показателей торцевой зоны неактивных частей турбогенераторов [Текст] / В.В. Кузьмин, В.В. Шевченко, А.Н. Минко // Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. трудов. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2011. – № 6. – С. 106-112. – ISSN 2078-774X. 2. Кузьмин, В.В. Эффективная компоновка неактивной части турбогенератора – основное средство оптимизации массогабаритных параметров турбогенератора [Текст] / В.В. Кузьмин, В.В. Шевченко, А.Н. Минко // Проблемы машиностроения. – 2011. – № 1. – С. 3-8. 3. Битунов, В.В. Технологическая оснащенность производства машин [Текст] / В.В. Битунов, Е.М. Удлер, Е.Г. Яковенко. – М.: Машиностроение, 1976. – 151 с., ил. 4. Коневский, П.М. Экономичность проектируемой конструкции [Текст] / П.М. Коневский. – Красноярск: Машиностроение, 1976. – 143 с., ил. 5. Кац, Г.Б. Техничко-экономический анализ и оптимизация конструкций машин [Текст] / Г.Б. Кац, А.П. Ковалев. – М.: Машиностроение, 1981. – 213 с., ил.

© Минко А.Н., Кузьмин В.В., Шевченко В.В., 2012
Поступила в редколлегию 15.02.12