

УДК 621.311.1:621.313.2

## ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОМАШИННОЙ СИСТЕМЫ В БОРТОВОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

*Мусаев З.Н., к.т.н., доц., Ханахмедова С.А., ст. лаборант  
Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия  
Азербайджан, г.Баку, проспект Азадлыг, 20  
E-mail: [soni\\_76@mail.ru](mailto:soni_76@mail.ru)*

Представлено основні аспекти створення стартерно-генераторного комплексу, який суміщує в одній електричній машині функції стартера і генератора, які застосовуються в даний час на борту автономних рухомих об'єктів як основні силові елементи електрообладнання. Оцінено об'єми матеріалів, що використовуються при виробництві конструкцій, що порівнюються, з урахуванням сучасного рівня технічних рішень й збереженням ресурсу.

**Ключові слова:** борт, стартер-генератор, одномашинна система, частота обертання, економічна ефективність, матеріальний розхід.

The paper presents the basic aspects of creation of a starter-generating complex combining functions of starter and generator in one electrical machine which used now onboard independent mobile objects as the basic power elements of an electric equipment. The volumes of materials spent by manufacture of compared designs in view of a modern level of the technical decisions and preservation of a resource are estimated.

**Key words:** bort, starter-generator, one-machine system, rotational speed, cost-effectiveness, material input.

**Введение.** Повышение жизненного уровня людей увеличивает их потребность в технических средствах (автомобили, тракторы и др.), применяемых для облегчения труда, перемещения, перевозки грузов, комфорта и пр. Силовой блок двигатель внутреннего сгорания (ДВС), установленный на борту, запускается часто, в любое время суток и сопровождается повышенным уровнем шума. Шум, являясь общебиологическим раздражителем, действует не только на слуховой аппарат людей, но и может вызвать расстройство нервной системы.

Ввод в конструкцию нового комплекса «стартер-генератор», может полностью исключить шумовые эффекты, связанные с запуском двигателя [1].

**Цель работы.** Решение проблемы совмещения функций стартера и генератора в одной электрической машине с учетом повышения ресурса, снижения удельного веса, повышения технологичности конструкции, поддержания надежности на современном уровне и оценки материального расхода.

**Материал и результаты исследований.** Вопрос комплектации, являющийся одним из составляющих проекта «Одномашинная система электромеханического преобразования» [2], рассматривается в комплексе с другими вопросами. Проект включает в себя несколько элементов: электрическая машина постоянного тока (стартер-генератор - СГ), имеющая две якорные обмотки; пускопереключающее устройство (ППУ), переводящее устройство в стартерный или генераторный режим, размещенное между СГ и шкивом ременной передачи, конструктив-

но выполненное как одно целое с СГ; ременная передача, которая создает связь между валом якоря СГ и коленчатым валом двигателя внутреннего сгорания; пусковое реле, дающее команды на включение, автоматизацию и сигнализацию режима.

С целью сближения противоположных режимных условий, в качестве входного параметра принимается частота вращения якоря принятой машины постоянного тока: частота вращения в стартерном режиме -  $n_c$ ; частота вращения якоря в генераторном режиме -  $n_{min.g}$ .

Частота вращения  $n_c$  принимается такой, чтобы получить наименьший удельный вес машины, что требует повышения значения  $n_c$  и одновременного сохранения при этом стабильности как в электрическом и механическом отношениях, так и надежности в режиме генератора во всем диапазоне частот ( $n_{min} \div n_{max.g}$ , где  $n_{min}$  соответствует частоте вращения холостого хода коленчатого вала ДВС). При частотах вращения  $n_{max.g}$  СГ должен вырабатывать напряжение, равное номинальному напряжению бортовой электрической сети  $U_b$ . Исследования показали, что при современных конструктивных решениях по исполнению обмотки якоря, приемлемому для двух режимов,  $n_{min.g}$ , может быть принят в  $2 \div 2,5$  раза меньше частоты вращения стартерного режима  $n_c$ . Таким образом, СГ после выполнения функции запуска ДВС с частотой вращения  $n_c$ , прекращается подача питания на обмотку якоря, и частота его вращения уменьшается свободно до значения, соответствующего режиму холостого хода ДВС, т.е. до

минимальной частоты вращения коленчатого вала, если не дается возмущение на ДВС. При любом возмущении на ДВС происходит соединение двух валов – СГ и ППУ. Как только происходит соединение, якорь машины подчиняется закону изменения частоты вращения коленчатого вала, создается единый вал, система полностью переводится на генераторный режим. Совместным действием генератора и аккумуляторной батареи, а также потребителей различного рода, создается энергетическая система – автоматизированная система бортового обеспечения.

Разработанный СГ проектируется на базе стартера, применяющегося в настоящее время на борту транспортных систем. Для оценки общей экономии материалов по сравнению с существующей конструкцией необходимо учесть не только вес материалов электрических машин, но и вес всех коммуникаций, связанных с обеспечением режима стартера и генератора:

- создание режима генератора осуществляется СГ и по этой причине из сравниваемого комплекса с учета почти полностью снимается генераторный вес –  $\Delta m_r$ ;

- новый комплекс [2] предусматривает ременную передачу момента от электрической машины на коленчатый вал ДВС в режиме стартера и обратно в генераторном режиме. По этой причине уменьшается количество крепежных деталей СГ и, соответственно, уменьшается общий вес стартерно-генераторного комплекса -  $\Delta m_p$ ;

- за счет уменьшения объема меди ( $\Delta m_m$ ) якоря и индуктора, веса электротехнической стали магнитных систем якоря и индуктора ( $\Delta m_{яст}$ ,  $\Delta m_{ист}$ ), веса конструктивных элементов  $\Delta m_{кон}$ , в связи с повышением частоты вращения якоря СГ в стартерном режиме в несколько раз по сравнению со стартером уменьшается общий вес - ( $\Delta m_{чвр}$ ):

$$\Delta m_{чвр} = \Delta m_m + \Delta m_{яст} + \Delta m_{ист} + \Delta m_{кон}. \quad (1)$$

Учитывая то, что вес активных материалов –  $\Delta m_m + \Delta m_{яст} + \Delta m_{ист} = \Delta m_a$  – уменьшается пропорционально объему якоря, выражение (1) запишется в виде:

$$\Delta m_{чвр} = \Delta m_a + \Delta m_{кон} \quad (2)$$

Для оценки степени уменьшения компонента  $\Delta m_a$  в выражении (2) обратимся к обобщенной теории, применяющейся при проектировании электрических машин [3]: объем машины пропорционален объему якоря  $D_{я}^2 l_1 \equiv V_{я}$ , а  $P_3 / n = M_3$  – электромагнитному моменту ( $D_{я}$  - диаметр якоря,  $l_1$  – расчетная длина якоря,  $P_3$  – электромагнитная мощность,  $n$  – частота вращения якоря). Следовательно, величина машинной постоянной  $C$  представляет собой объем якоря, приходящийся на единицу элек-

тромагнитного момента, т.е. характеризует степень использования машины. Что касается частоты вращения  $n$ , то из вышеуказанного отношения видно, что чем быстрее машина, тем меньше ее главные размеры при прочих постоянных.

Если частоту вращения якоря СГ взять в  $K$  раз больше частоты вращения якоря сравниваемого стартера, то при равных мощностях момент на валу СГ будет в  $K$  раз меньше, т.е.

$$M_{СГ} = \frac{M_{СТ}}{K},$$

где  $M_{СТ}$  – момент на валу сравниваемого стартера.

Для объема якоря СГ можно писать пропорциональность, как

$$V_{СГ} \approx \frac{V_{СТ}}{K} = C M_{СТ},$$

где  $V_{СТ}$  - объем якоря сравниваемого стартера.

Принимая во внимание отношения между объемом и весом и учитывая технологические особенности при изготовлении машины, можно оценить уменьшение веса применяемого СГ с учетом повышенной частоты вращения якоря (из-за неполного соответствия конструкции ошибки в переводе веса не превышают 3 ÷ 5%):

$$\Delta m_{чвр} = V_{СТ} - V_{СГ}.$$

Существуют изменения в функциональной деятельности электромагнитного реле управления, входящего в конструкцию СГ.

При проектировании электромагнитного реле оптимальная конструктивная форма выбирается по геометрическому показателю («конструктивному фактору»), для электромагнита постоянного тока, который определяется [4]:

$$\Gamma = \sqrt{F_3} / \delta_n.$$

Если приближенно считать, что

$$F_3 \approx S \approx D^2 \text{ и } \delta_n = 1, \text{ то } \Gamma \approx D / l,$$

где  $F_3$  – сила, развиваемая электромагнитом тягового реле;  $\delta_n$  – начальный рабочий воздушный зазор;  $S$  и  $l$  – сечение и длина сердечника;  $D$  – наружный диаметр цилиндрического электромагнита.

Как видно из этих соотношений, размеры электромагнита, составляющего основную массу тягового реле, зависят от силы и начального рабочего воздушного зазора. В сравниваемой конструкции реле выполняет функции создания силы для сцепления стартера с маховиком ДВС, контактного нажатия для пусковых контактов, причем работа выполняется на довольно большом начальном зазоре. У включающего реле, входящего в новую конструкцию, сила тяги и начальная величина рабочего воздушного зазора значительно малы при одинаковых мощностях СГ и стартера, соответственно меньший рас-

ход материалов. Точный расчет разницы материального расхода определяется в процессе конкретного проектирования. Разница

$$\Delta m_p = \Delta m_{pct} - \Delta m_{pct},$$

где  $\Delta m_p$  - разница материального расхода для изготовления реле СГ и сравниваемого стартера;  $\Delta m_{pct}$  - объем материала реле стартера;  $\Delta m_{pct}$  - объем материала реле СГ.

Анализ процессов и сравнение новой системы с существующей даст возможность сделать такой вывод, что, применяя современную методику проектирования с учетом оптимизации параметров, характеристик и режимов работ, а также передовую технологию, для электромеханического преобразования можно использовать материалы весом

$$\Delta m_{эп} \approx (0,7 \div 0,6)(m_{ст} + m_r),$$

или

$$\Delta m_{эп} \approx (m_{ст} + m_r) - (\Delta m_r + \Delta m_{чвр} + \Delta m_p),$$

где  $\Delta m_{ст}$  и  $\Delta m_r$  - соответственно, общий материальный расход сравниваемого стартера, генератора и необходимых деталей и узлов для их крепления.

Экономическая эффективность от экономии материалов при применении нового комплекса будет:

$$E_{общ} = [(m_{ст} + m_r) - m_{СГ}] N,$$

где N - количество СГ, производимых за один год.

Для оценки только материальной экономии от применения СГ на борту подвижных систем в сравнении с комплексом «стартер и генератор» произведен расчет. Данные расчета внесены в табл.1.

**Таблица 1– Таблица сравнения материальных расходов**

Название узла	Ед. изм.	Медь	Электротехническая сталь	Конструктивные материалы	Расход по узлам
1. Стартер СТ221–1,3 кВт	кг	0,906	3,455	3,240	7,60
2. Реле включения	кг	0,26	0,450	0,120	0,830
3. Генератор–Г221-42А	кг	0,528	1,8	1,350	3,678
Всего	кг	1,694	5,705	4,71	12,108
4. Стартер-генератор	кг	1,099	3,18	3,33	7,582
Общая экономия материалов (1+2+3-4)	кг	0,595	2,525	1,407	4,527
Экономия в процентах	%	~35	~45	~30	~37
Удельный вес-1,3 кВт	кг/кВт	1,303	4,388	3,623	9,314
Удельный вес-1,5 кВт	кг/кВт	0,733	2,120	2,220	5,055

В качестве сравниваемых объектов взяты: стартер СТ221 мощностью 1,3 кВт и генератор на 42 А типа Г221; стартер-генератор мощностью 1,5 кВт (режим стартера) и 50 А (режим генератора). Ошибки в расчетах прогнозируются около  $\pm 5\%$ .

**Выводы.** Проанализированы основные элементы конструктивного решения для перехода от двухмашинной к одномашинной системе бортового электромеханического преобразования для подвижных автономных объектов. Доказана возможность экономии большого объема активных и конструктивных материалов при решении вопросов перехода на новую систему на высоком техническом уровне. При переходе на новую систему по предварительным расчетам можно сэкономить 30-40% материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хвостов В.С. Электрические машины. Машины постоянного тока. – М.: Высш. шк. – 1988. – 335 с.
2. Мусаев З.Н. Бортовая система одномашинного электромеханического преобразования. Патент Азербайджанской Республики, 990212. 01.12.99.
3. Проектирование электрических машин. Под ред. Копылова И.П. – М.: Высш. шк. – 1980. – 495 с.
4. Сахаров П.В. Проектирование электрических аппаратов. – М.: Энергия. 1971. 559 с.

Стаття надійшла 19.04.2008 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Чорним О.П.