

АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГЕНЕРАТОРОВ ЛИНЕЙНОГО И ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ТИПА

*Менжинский А.Б., Малашин А.Н.
Военная академия Республики Беларусь*

В настоящее время существует потребность в разработке модульной единой системы энергоснабжения (ЕСЭС), модулем которой являлся бы, источник энергии с высокими энергетическими и массогабаритными показателями. В этой связи в исследовательских центрах России, США, Швеции, Франции и Великобритании в качестве перспективного электромеханического источника энергии рассматривается свободнопоршневой двигатель (СПД) с линейным электрическим генератором [1-5, 14]. Основным достоинством такой системы, является отсутствие кривошипно-шатунного механизма в конструкции двигателя, что позволяет существенно увеличить его КПД до 50 - 65% и достичь средней удельной массы 0,6 кг/кВт, а также уменьшить удельный расход топлива двигателя до 140 г/кВт·ч [13, 14]. При этом средний ресурс до капитального ремонта увеличится до 30 - 50 тыс. часов, в зависимости от типа СПД.

В современных опытных разработках, энергетических установок на базе СПД, рассматриваются линейные генераторы (ЛГ) традиционного типа. Вместе с тем, как показал анализ [1-5], ЛГ традиционного типа имеют ряд недостатков, которые ограничивают максимально возможное использование энергетических характеристик СПД. Поэтому возникает необходимость, в исследовании новых конструкций и оптимизации уже существующих электромеханических преобразователей энергии возвратно – поступательного движения, которые позволяли бы с максимальной эффективностью использовать энергетические характеристики СПД.

Рассмотрим конструкцию возвратно-поступательного электрического генератора (ВПЭГ) состоящую из неподвижной (статора) и подвижной (ротора) части. Статор и ротор ВПЭГ представляет собой П – образный магнитопровод с рабочей обмоткой и постоянными магнитами соответственно (рис. 1).

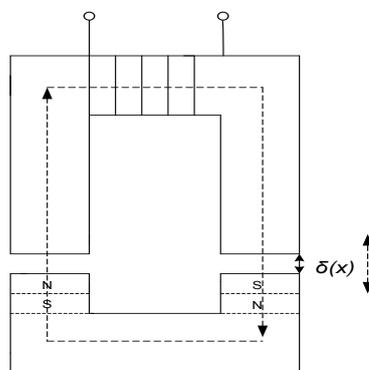


Рис. 1 – Возвратно-поступательный электрический генератор

Проведем потенциальную оценку, ЛГ и предлагаемого ВПЭГ, по энергетическим и массогабаритным показателям. С целью корректности потенциальных оценок, ВПЭГ представляется в таком же конструктивном исполнении, как и простейший ЛГ.

Существенным отличием ВПЭГ от ЛГ, заключается в том, что в ЛГ зависимость магнитной проводимости воздушного зазора от координаты носит линейный характер, а в ВПЭГ – нелинейный характер.

При разработке математических моделей ЛГ и ВПЭГ был принят ряд традиционных допущений, которые позволят получить адекватную математическую модель [12].

Расчетная формула мгновенного значения ЭДС движения, для ВПЭГ, имеет вид:

$$E(t) = F_M \cdot \frac{2 \cdot S \cdot \mu_0}{(2 \cdot (X_m + \delta_{\min} - x(t)) + L_M \cdot \frac{\mu_0}{\mu_r})^2} \cdot v(t), \quad (1)$$

где L_M – длина магнита вдоль оси полюсов;

μ_r – внутренняя проницаемость постоянного магнита ($\mu_0 = \mu_r$);

μ_0 – магнитная проницаемость вакуума;

$X_m + \delta_{\min} \pm x(t)$ – закон изменения величины воздушного зазора генератора;

X_m – амплитуда хода подвижной части генератора;

δ_{\min} – минимальное значение величины воздушного зазора ВПЭГ;

$x(t)$ – закон перемещения подвижной части генератора.

Расчетная формула для мгновенного значения ЭДС движения ЛГ имеет вид

$$E(t) = F_M \cdot \frac{\mu_0 \cdot l}{2 \cdot \delta + L_M \cdot \frac{\mu_0}{\mu_r}} \cdot w \cdot v(t), \quad (2)$$

δ – величина воздушного зазора ЛГ;

l – сторона магнитопровода статора.

Для потенциальной оценки двух типов генераторов, зададимся таблицей исходных данных, таблица 1.

Таблица 1 – значение исходных данных генераторов, для потенциальной оценки

Параметр	Значение
Расчетная мощность, кВт	5.1
Напряжение на выходе генератора, В	225
Величина воздушного зазора для ЛГ, мм	0.5
Минимальная величина воздушного зазора для ГВПД, мм	0.5

Магнитная система обоих типов генераторов содержит постоянный магнит (NdFeB), с параметрами: $B = 1,12 \text{ Тл}$, а $H_c = 950 \cdot 10^3 \frac{\text{А}}{\text{м}}$ при 20°C . Длина постоянного магнита, из соображений механической прочности принимается равной $L_M = 5 \text{ мм}$ [11].

Расчет КПД и удельной массы генераторов, произведем для различных величин хода поршня двигателя, с целью оценки эффективности генераторов от величины перемещения подвижной части двигателя, но сохраняя при этом среднюю скорость подвижной части двигателя постоянной, за счёт изменения рабочей частоты двигателя, результаты расчета представлены в таблице 2. Следует учесть, что рабочий промежуток колебаний подвижной части ЛГ, обеспечивающий приемлемые характеристики генератора, не превышает половины, изменяющейся при движении, стороны полюса магнитопровода статора, то есть величина хода подвижной части генератора равна изменяющейся при движении стороне полюса магнитопровода статора [6]. График зависимости удельной массы генераторов от величины хода подвижной части двигателя представлена на рис. 4.

Таблица 2 – результаты расчета, при потенциальной оценке генераторов

Показатели	Результаты расчета			
	ЛГ			
Средняя скорость поршня двигателя, м/с	7,1	7,1	7,1	7,1
Ход поршня, мм	20	40	60	80
Расчетный КПД	0,94	0,94	0,94	0,94
Удельная масса, кг/кВт	0,91	1,6	2,9	5,2
	Результаты расчета			
	ВПЭГ			
Средняя скорость поршня двигателя, м/с	7,1	7,1	7,1	7,1
Ход поршня, мм	20	40	60	80
Расчетный КПД	0,95	0,96	0,96	0,96
Удельная масса, кг/кВт	0,84	1,34	2,5	4,6

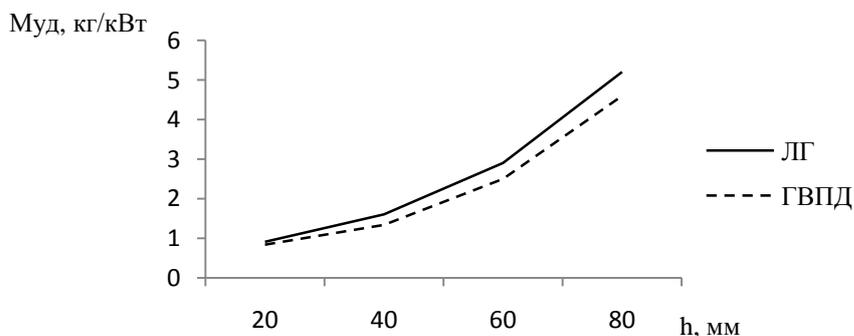


Рис. 4 – Зависимость удельной массы генераторов от величины хода подвижной части двигателя

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что при величине перемещения подвижной части генератора от 20 до 80 мм и средней скорости 7,1 м/с, ЛГ по удельным характеристикам в 1,1 – 1,2 раза хуже, чем ВПЭГ. КПД обоих типов генераторов соизмеримо, но все же КПД ВПЭГ на 1 – 2% больше, чем у ЛГ. Стоит отметить тот факт, что при фиксированной площади поперечного сечения магнитопровода статора и ротора генератора, эффективность ВПЭГ ограничена величиной перемещения подвижной части генератора, что можно отнести к недостатку данного типа генератора. Вместе с тем, как показал анализ СПД, именно наличие высокоэффективного электромеханического преобразователя энергии возвратно-поступательного движения, с малой величиной перемещения подвижной части (ротора), позволит максимально использовать энергетические характеристики СПД.

Таким образом, проведенный анализ потенциальных возможностей генераторов линейного и возвратно-поступательного типа показывает, что на сегодняшний день существуют технические возможности разработки модульной ЕСЭС, модулем которой являлся бы, источник энергии с высокими энергетическими и массогабаритными показателями.

Список использованных источников

1. Cawthorne William R., Optimization of a Brushless Permanent Magnet Linear Alternator for Use With a Linear Internal Combustion Engine. Dissertation, the College of Engineering and Mineral Resources at West Virginia University, Morgantown, West Virginia, 1999. – 113 с.
2. Hanson Jorgen, Analysis and Control of a Hybrid Vehicle Powered by a Free-Piston Energy Converter, Electrical Machines and Power Electronics School of Electrical Engineering. Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden 2006. – 110 с.
3. High Performance Free-Piston Stirling Engines, Sunpower Inc. Athens, Ohio USA. 2005.
4. Boldea, I. Synchronous generators. The Electric Generators Handbook. Taylor & Francis Group, 2006.
5. Boldea, I. Variable speed generators. The Electric Generators Handbook. Taylor & Francis Group, 2006.
6. Хитерер М.Я., Овчинников И.Е. Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения. – СПб.: КОРОНА принт, 2013. – 368 с.
7. Таев И.С., Буль Б.К. Основы теории электрических аппаратов. – М.: Высш. шк., 1987. – 352 с.
8. Вольдек А.И. Электрические машины. – Энергия, ленинградское отделение, 1974. – 839 с.
9. Балагуров В.А., Галтеев Ф.Ф., Ларионов А.Н. Электрические машины с постоянными магнитами. – Энергия, 1964. – 480 с.

10. Балагуров В.А., Галтеев Ф.Ф. Электрические генераторы с постоянными магнитами. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.
11. Постоянные магниты: Справочник / Под ред. Ю.М. Пятина, изд. 2-е перераб.: Энергия, 1980. – 488 с.
12. А. В. Иванов-Смоленский. Электрические машины/ Учебник для вузов. М.: Энергия, 1980. - 928 с.
13. Костиков В.Г., Парфенов Е.М., Шахнов В.А. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование: Учебник для вузов. – 2 - е изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 344 с.
14. Темнов Э.С. Разработка теоретических основ расчета и конструирования малоразмерных двигатель – генераторных установок как единой динамической системы. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Тула: ТулГУ, 2005. – 134 с.
15. Электроснабжение полевых узлов связи: Учеб. пособие / А. С. Гундарев, Г. В. Доднев, А. П. Кокарев, О. Л. Мальцева, Н. А. Мишин, А. И. Муравьев, А. В. Мякотин, О. В. Озеров; под ред. профессора, д-ра.техн.наук. А.В. Мякотина – СПб.: ВАС, 2007. – 180 с.