

## ТЕРМОАКУСТИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОР В СОСТАВЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА: ОЦЕНКА ПРЕИМУЩЕСТВ

©2018 А.И. Довгялло, С.О. Некрасова, А.Ю. Пулькина

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

## THERMOACOUSTIC SPACE POWER GENERATOR FOR COMPETITIVE LIFETIME AND PERFORMANCE CONSEQUENCES

Nekrasova S.O., Pulkina A.U. (Samara National Research University,  
Samara, Russian Federation)

*The comparative assessment of various space power systems on the parameters of thermal and thermal to electric efficiency, specific electric power is given. Comparative analysis require development of certain criteria which must take into account generated energy, degree of thermal energy conversion etc. Analysis shows that thermoacoustic space power generators are characterized by guaranteed specific characteristics at the end of the active life, increased lifetime and operation in the aggressive environment of remote planets and deep space.*

Тактико-технические характеристики, надёжность и срок службы перспективных космических аппаратов (КА) определяются, в первую очередь, характеристиками их систем электроснабжения (СЭС). Основным источником электроэнергии для КА в настоящее время является комбинация солнечных и аккумуляторных батарей. Однако, по удельно-массовым характеристикам они достигли своего физического предела, а КПД солнечных батарей невелик и не превышает на данный момент 10–15 %.

Развитие космонавтики в сторону исследований глубокого космоса требует перехода к новым бортовым СЭС, диктует необходимость увеличения их энерговооружённости и срока активного существования. Использование термоакустических тепловых машин в составе бортовых СЭС рассматривается многими зарубежными космическими агентствами как одна из перспективных технологий.

Термоакустические электрогенераторы (ТАГ) имеют конструктивную схему без подвижного поршня в горячей части, что повышает их ресурс и надёжность по сравнению с традиционными машинами Стирлинга.

Целью работы является осуществление сравнительной оценки ТАГ в составе СЭС КА с целью уточнения заявленных потенциальных преимуществ их использования в рамках перспективных направлений исследования глубокого космоса.

Оценка производилась по следующим оценивающим параметрам:

Термический КПД – показывает эффективность преобразования подведенной теплоты в электрическую мощность:

$$\eta_{\text{Терм}} = \frac{W_{\text{эл}}}{Q_{\text{подв}}},$$

где  $W_{\text{эл}}$  – генерируемая электрическая мощность, Вт,  $Q_{\text{подв}}$  – количество подведённой теплоты, Вт.

Удельная мощность электрогенератора:

$$w_{\text{эл}} = \frac{W_{\text{сумм эл}}}{m_{\text{ТАГ}}},$$

где  $W_{\text{сумм эл}}$  – полезная генерируемая мощность, Вт;  $m_{\text{ТАГ}}$  – суммарная масса установки, кг.

КПД относительно цикла Карно – термического КПД относительно максимального КПД в заданном диапазоне температур:

$$\eta_{\text{терм\_Карно}} = \eta_{\text{Терм}} / \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right),$$

где  $T_1$  и  $T_2$  – значение горячей и холодной температур.

Длительный срок существования КА требует увеличенного ресурса при сохранении уровня генерируемой мощности СЭС в условиях изменяемых температурных режимов и внешних условий космоса и на поверхности. В связи с этим сравнивались удельная мощность СЭС на начало (BOL) и конец миссии (EOL). Сравнивались значения удельной мощности при средней длительности миссии, равной 17 лет.

Анализ публикаций зарубежных передовых организаций космической отрасли выявил тенденцию перехода в выборе типа СЭС КА для перспективных длительных космических миссий от термоэлектрических

электрогенераторов к тепловым машинам Стирлинга с радиоизотопным источником тепла. В связи с этим расчёт параметров и дальнейшая их оценка проводились на основе данных полученных из массива статей для бортовых СЭС на основе свободнопоршневых машин Стирлинга, в т.ч. с оппозитно установленными поршнями (SRG) и (ASRG), электрогенераторов на основе термоакустических двигателей (ТАРС), термоэлектрических электрогенераторов (eMMRTG, MMRTG).

Анализ полученных значений с помощью точечных диаграмм зависимостей термического КПД и генерируемой мощности показал, уровни вырабатываемой электрической мощности на начало/конец срока активного существования (BOL/EOL) различных типов машин Стирлинга и ТАРС находятся примерно в одном диапазоне 126...492 Вт, однако для традиционных машин Стирлинга (SRG, ASRG) происходит значительное снижение уровня генерируемой мощности в конце срока активного существования до уровня 104...409 Вт. Уровень удельной мощности свободнопоршневого двигателя SRG выше, чем для оппозитного свободнопоршневого двигателя Стирлинга (ASRG), что связано с повышением массогабаритных характеристик ASRG вследствие оптимизации холодной части двигателей. Оппозитная компоновка ASRG снижает вибрации, однако высокотемпературные условия работы поршней значительно снижают ресурс и эффективность, требуют специальных конструктивных решений и материалов в отличие

от ТАРС. Термический КПД на начало срока активного существования для свободнопоршневых двигателей Стирлинга составляет порядка 22...24%, удельная мощность находится в диапазоне 7.5-8 Вт/кг. Изменение холодной температуры до уровня 4К, что соответствует условиям работы СЭС в условиях глубокого космоса, значительно увеличивает удельную мощность ТАРС на основе термоакустического двигателя Стирлинга. Технология термоакустического преобразования энергии имеет наибольшую удельную мощность, используя при этом в качестве источника тепла только 25% массы  $Pu^{273}$  перспективного модульного термоэлектрического генератора (eMMRTG). Общая масса СЭС на основе ТАРС на 70% меньше термоэлектрического генератора и на 25% - СЭС на основе традиционных оппозитных двигателей Стирлинга (ASRG). Можно сделать вывод, что при равных количествах изотопного топлива технология термоакустического преобразования тепловой энергии в электрическую является более эффективной по уровню вырабатываемой мощности при сохранении уровня эффективности до конца срока активного существования.

Полученные сравнительные данные позволяют сделать выводы о совершенстве преобразования энергии и эффективности её использования в ТАРС, характеризующиеся гарантированными удельными характеристиками СЭС в конце срока активного существования КА, повышенным ресурсом и стойкостью СЭС при воздействии факторов космического пространства.

УДК 536.8

## РАСЧЁТ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКИ-ИНЕРЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА КОНТРОЛЬНЫХ ОБЪЁМОВ

©2018 А.И. Довгялло, А.А. Воробьёв, С.О. Некрасова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

## CALCULATION OF THE WORKING PROCESS OF A THERMAL-LAG ENGINE WITH THE METHOD OF CONTROL VOLUMES

Dovgyallo A.I., Vorobev A.A., Nekrasova S.O. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

*This article deals with calculation of the working process of an external heat engine such as thermal lag engine with the method of two control volumes. Calculation shows that the intensity of heat transfer in the cold volume allows sufficiently increase the efficiency of the engine.*