УДК 629.78.064.5

М.В. Нестеришин, В.Г. Букреев, Р.В. Козлов, А.В. Журавлев

Методика оценки энергетической эффективности энергопреобразующей аппаратуры систем электропитания космических аппаратов

Дается обоснование и определение энергетических параметров энергопреобразующей аппаратуры (ЭПА) таких как коэффициент передачи мощности (КПМ) и собственное потребление. Описывается методика определения КПМ и собственного потребления ЭПА.

Ключевые слова: коэффициент полезного действия, коэффициент передачи мощности, собственное потребление, энергопреобразующая аппаратура, система электропитания космического аппарата.

doi: 10.21293/1818-0442-2018-21-1-112-118

При разработке систем электропитания (СЭП) космических аппаратов (КА) возникает задача расчета энергетического баланса, где в качестве исходных данных используются проектные характеристики ее составных частей: мощность солнечной батареи (БС), энергоемкость аккумуляторных батарей (АБ), а также коэффициент полезного действия (КПД) силовых регуляторов энергопреобразующей аппаратуры (ЭПА) [1–3].

Поскольку ЭПА является системообразующим блоком СЭП, обеспечивающим совместную работу солнечной и аккумуляторной батарей, то принимаемые при расчетах значения КПД оказывают значительное влияние на требуемые характеристики СЭП в целом. Ошибочные значения КПД силовых регуляторов ЭПА при расчете энергобаланса могут привести либо к наличию избыточной мощности и массы СЭП в случае, если значения КПД занижены относительно фактических, либо к невозможности выполнения СЭП целевой функции в случае, если значения КПД завышены относительно фактических.

В качестве примера можно привести характерный вид графика зависимости КПД регулятора напряжения от входной мощности СЭП (рис. 1), где $P_{вх}$ – входная мощность ЭПА при постоянном выходном напряжении 100 В. Здесь и далее будем использовать зависимость КПД от входной мощности регулятора ЭПА.

Общеизвестно, что любое энергопреобразующее оборудование проектируется на максимум КПД при номинальной нагрузке, при превышении которой КПД неизбежно снижается, что обеспечивает экстремальный характер изменения КПД в зависимости от мощности нагрузки. При рассмотрении зависимости КПД от входной мощности СЭП принято допущение о том, что максимум КПД достигается при работе регулятора в номинальном режиме, а перегрузки по выходной мощности не рассматриваются. Возможность принятия данного допущения обусловлена тем, что при проведении оценки энергетической эффективности ЭПА и расчете энергобаланса КА рассматривается только номинальный режим работы регуляторов ЭПА, в то время как режим

перегрузки регуляторов является штатным и кратковременным режимом работы СЭП и поэтому не является предметом расчета энергобаланса КА.

Далее введем такие параметры СЭП, как коэффициент передачи мощности (КПМ) и мощность (P_c) собственного потребления ЭПА. Для однозначного понимания предлагаемых параметров рассмотрим их более подробно.

Коэффициент передачи мощности силового регулятора – это отношение выходной полезной мощности, передаваемой в нагрузку к разности между входной мощностью силового регулятора и мощностью собственного потребления ЭПА:

$$\text{КПМ} = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}} - P_c}, \quad (1)$$

Рис. 1. Зависимость КПД регулятора напряжения от входной мощности СЭП

Мощность собственного потребления регулятора – это сумма мощности собственного потребления регулятора, которая не зависит (слабо зависит) от значения мощности нагрузки (а также входной мощности и соотношения входных и выходных напряжений), и мощности потребления схемы управления и вспомогательных устройств, обеспечивающих работу регулятора (например, его вторичных источников питания):

$$P_c = P_{\text{вип}} + P_{\text{per.const}}, \quad (2)$$

Коэффициент полезного действия в классическом понимании представляется выражением

$$\frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} = f(P_{\text{ВХ}}), \quad (3)$$

где $f(P_{\text{вх}})$ – нелинейная функция (см. рис. 1).

Осуществим далее переход к параметрам КПМ и мощности P_c собственного потребления.

При анализе характеристик технических систем обычно используется базовый набор аналитических функций, которые достаточно адекватно аппроксимируют зависимости их параметров. Так для графиков, представленных на рис. 1, можно применить аналитическую функцию следующего вида [4, 5]:

$$f(P_{\text{вх}}) = a_0 - \frac{a_1}{P_{\text{вх}} + a_2}. \quad (4)$$

Покажем, что данное выражение отражает зависимость КПД от входной мощности. Для этого подберем известными методами оптимизации коэффициенты a_0, a_1, a_2 (4) таким образом, чтобы ошибка между значениями КПД, которые получены по экспериментальным данным и по модели была минимальной.

Статистический анализ полученной зависимости показывает, что (4) с доверительной вероятностью 99,73% описывает зависимость КПД от входной мощности, при этом относительная ошибка аппроксимации составляет не более чем 4,27% и обусловлена погрешностью измерений, а также сравнительно небольшим количеством используемых экспериментальных данных. Относительная ошибка аппроксимации зависит от количества имеющихся измерений и уменьшается с их ростом.

Далее выражение, определяющее зависимость КПД (4) может быть разрешено относительно входной мощности следующим образом:

$$P_{\text{вых}}(P_{\text{вх}}) = a_0 \cdot P_{\text{вх}} - a_1 + \frac{a_2 \cdot a_1}{P_{\text{вх}} + a_2}. \quad (5)$$

Данное выражение достаточно хорошо аппроксимируется линейной функцией вида

$$y(x) = k \cdot x - b. \quad (6)$$

Нелинейность (5) сильнее всего проявляется при близких к нулю значениях выходной мощности и не вносит существенных искажений в практическом диапазоне измеряемых значений мощности. Графики (5) и (5 с исключенным третьим слагаемым), а также график третьего слагаемого представлены на рис. 2.

Таким образом, третье слагаемое в (5) может быть исключено на основании следующих условий и допущений:

- нелинейность зависимости выходной мощности от входной проявляется при малых значениях мощности (для рассматриваемого примера до 300 Вт и номинальной мощности регулятора 3000 Вт);
- КПД в диапазоне мощностей до 10% от номинальной мощности обычно не является предметом рассмотрения при энергетических расчетах систем электроснабжения КА;
- вклад третьего слагаемого (5) при мощности более 10% от номинальной мощности составляет не более 0,08%, откуда следует, что третьим слагаемым в (5) можно пренебречь.

Рис. 2. Графики зависимости выходной мощности от входной мощности

Таким образом, получено выражение зависимости выходной мощности регулятора от его входной мощности в виде

$$P_{\text{вых}} = k \cdot P_{\text{вх}} - b, \quad (7)$$

где $b = P_c = P_{\text{вип}} + P_{\text{пер.const}}$ – мощность собственно

го потребления регулятора; $k = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}} - P_c}$ – коэффициент

передачи мощности силового регулятора.

Знак «минус» перед слагаемым $b = P_c = P_{\text{вип}} + P_{\text{пер.const}}$ в (7) показывает, что собственное потребление силового регулятора не передается в нагрузку.

В применимости данной модели также легко убедиться, если построить график зависимости измеренных значений $P_{\text{вых}}$ от $P_{\text{вх}}$ (рис. 3).

Рис. 3. График зависимости измеренных значений $P_{\text{вых}}$ от $P_{\text{вх}}$

Приведенная на рис. 3 зависимость даёт погрешность аппроксимации около 0,7% во всем диапазоне мощностей при доверительной вероятности 99,73%, что более чем достаточно для выполнения энергетических расчетов и сравнительного анализа энергетических характеристик силовых узлов ЭПА.

Для оценки достоверности получаемых результатов проведен вычислительный эксперимент, для оценки следующих характеристик:

- способность к восстановлению линейных зависимостей по искусственно сформированным исходным данным с известным уровнем внесённых ошибок;

– определение уровня нелинейности реальных экспериментальных данных по ЭПА с использованием дополнительных статистических характеристик.

Методика вычислительного эксперимента заключается в следующем:

- для формирования исходных данных используется линейная функция с независимыми переменными вида

$$Y = K_1 \cdot X_1 + K_2 \cdot X_2 + K_3 \cdot X_3 + K_4 \cdot X_4 + B, \quad (8)$$

где Y – выходная мощность ЭПА, Вт; X_i – входная мощность регуляторов ЭПА, Вт; K_i – КПП регуляторов ЭПА, о.е.; B – собственное потребление ЭПА, Вт. Диапазоны изменения переменных и значения коэффициентов линейной функции (КЛФ) для обеспечения последующего качественного сравнения выбраны близкими к диапазонам реальных экспериментальных данных и значениям энергетических параметров ЭПА, полученных при обработке этих данных;

- на основе (8) формируется матрица размерностью $[500; 5]$ значений Y_i и X_{ij} . Значения X_{ij} определяются равномерной случайной выборкой из заданного диапазона;

- из матрицы с «идеальными» значениями переменных линейной функции формировалась тестовая матрица. К каждому значению Y_i и X_{ij} добавлялось значение «ошибки», которое формировалось случайной выборкой с равномерной плотностью вероятности из нормального распределения с заданным значением σ . При этом значение σ составляло известную долю от максимальной ширины диапазона изменения переменной Y_i . Вносимая «ошибка» имитировала сумму ошибок измерения в реальных данных и неидеальную линейность зависимостей энергетических параметров ЭПА;

- для тестовой матрицы восстанавливаются значения констант линейного уравнения, а также формируются дополнительные статистические па-

раметры (σ_{K_j} , σ_B , σ_Y , r_2 , где r_2 – коэффициент детерминированности);

- далее, варьируя значение σ вносимой «ошибки», проводится сравнительный анализ выходных значений и характер их изменений в зависимости от значения σ .

Значения констант и диапазоны изменения переменных для проведения вычислительного эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1
Значения констант и диапазоны изменения переменных

Параметр	Значение
Значения коэффициентов линейной функции:	
• K_1 , о.е.	0,98
• K_2 , о.е.	0,96
• K_3 , о.е.	0,94
• K_4 , о.е.	0,92
• B , Вт	100
Диапазоны изменения переменных линейного выражения, Вт:	
• X_1	От 2,500 до 12,500
• X_2	От –100 до –3,000
• X_3	От –200 до –7,000
• X_4	От 200 до 1,500
• Y	До ~10,000
Диапазон изменения значения вносимой «ошибки» σ :	
• относительно значения $[Y]_{\max}$, %	От 0 до 3
• абсолютный	От 0 до 300

Результаты вычислительных экспериментов, для ряда характерных случаев, содержащие значения коэффициентов линейной функции и дополнительных статистических параметров, приведены соответственно в табл. 2–7.

Значение вносимой ошибки σ составляет 1%

Описание параметра	Коэффициент линейной функции (КЛФ)				
	K_1	K_2	K_3	K_4	B
Исходное значение	0,9800	0,9600	0,9400	0,9200	100,00
«Восстановленное» значение КЛФ (по серии из 15 реализаций вычислительного эксперимента):					
• среднее	0,9783	0,9456	0,9381	0,8941	104,20
• максимальное	0,9846	0,9651	0,9492	0,9214	169,23
• минимальное	0,9738	0,9256	0,9318	0,8659	32,09
Значение 3σ для КЛФ:					
• среднее	0,0099	0,0342	0,0147	0,0658	120,61
• максимальное	0,0105	0,0371	0,0156	0,0706	128,03
• минимальное	0,0093	0,0322	0,0137	0,0587	111,16

Таблица 2

Значение вносимой ошибки σ составляет 1%

Параметр	Значение
Ошибка по зависимой переменной, σ_Y	212,77
Коэффициент детерминированности, r_2	0,996289

Таблица 3

Таблица 4

Значение вносимой ошибки σ составляет 0,3%

Описание параметра	Коэффициент линейной функции (КЛФ)				
	K_1	K_2	K_3	K_4	B
Исходное значение	0,9800	0,9600	0,9400	0,9200	100,00
«Восстановленное» значение КЛФ (по серии из 15 реализаций вычислительного эксперимента):					
• среднее	0,9795	0,9592	0,9397	0,9178	103,29
• максимальное	0,9816	0,9667	0,9430	0,9351	121,88
• минимальное	0,9775	0,9549	0,9355	0,9100	78,88
Значение 3σ для КЛФ:					
• среднее	0,0033	0,0115	0,0050	0,0259	42,87
• максимальное	0,0036	0,0130	0,0054	0,0277	45,74
• минимальное	0,0031	0,0104	0,0046	0,0239	38,68

Таблица 5

Значение вносимой ошибки σ составляет 0,3%

Параметр	Значение
Ошибка по зависимой переменной, σ_y	71,51
Коэффициент детерминированности, r^2	0,999587

Таблица 6

Значение вносимой ошибки σ составляет 0,1%

Описание параметра	Коэффициент линейной функции (КЛФ)				
	K_1	K_2	K_3	K_4	B
Исходное значение	0,9800	0,9600	0,9400	0,9200	100,00
«Восстановленное» значение КЛФ (по серии из 15 реализаций вычислительного эксперимента):					
• среднее	0,9801	0,9602	0,9399	0,9194	100,03
• максимальное	0,9807	0,9617	0,9404	0,9264	103,31
• минимальное	0,9794	0,9591	0,9393	0,9169	94,97
Значение 3σ для КЛФ:					
• среднее	0,0010	0,0035	0,0015	0,0078	12,83
• максимальное	0,0011	0,0037	0,0016	0,0081	14,02
• минимальное	0,0009	0,0033	0,0014	0,0074	11,83

Таблица 7

Значение вносимой ошибки σ составляет 0,1%

Параметр	Значение
Ошибка по зависимой переменной, σ_y	21,56
Коэффициент детерминированности, r^2	0,999949

На основании анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- удовлетворительным образом восстанавливается многомерная линейная зависимость по исходным данным, содержащим «шумовую» составляющую (ошибки измерений, неидеальная линейная зависимость переменных и т.д.). Характер изменения значений дополнительных статистических параметров (σ_{K_j} , σ_B , σ_y , r^2) соответствует характеру изменений значения σ вносимой ошибки;

- суммарное значение относительной σ ошибки, включающей неидеальную линейную зависимость параметров ЭПА и измерительных неточностей, не превышает $0,1 \pm 0,3\%$ от значения максимальной выходной мощности ЭПА.

Рассмотрим наиболее простой тип стабилизатора напряжения шины «27 В», выполненного в виде одного силового устройства по стандартной схеме последовательного ШИМ-регулятора. Экспериментальные данные энергетических характеристик были получены для следующих режимов работы ЭПА:

- диапазон выходной мощности, Вт, с шагом ~ 30 Вт ($30 \div 1,230$);

- значения входного напряжения, В: (99; 100; 101);

- значения температуры посадочной платы, °С (минус 32, н.у. плюс 57);

- давление, Тор ($1,6 \times 10^8$; н.у.).

Результаты применения энергетической модели ЭПА приведены на рис. 4, где представлены графики следующих параметров:

$P_{\text{вых изм}}$ – точки измеренной выходной мощности, при соответствующей входной мощности ($P_{\text{вх}}$).
 $P_{\text{вых лин}}$ – линия модельной выходной мощности.

КПД_{изм} – точки значений КПД, полученные стандартным образом, как соотношение $P_{\text{вых изм}}$ к $P_{\text{вх}}$.

КПД_{лин} – линия значений КПД, полученная как соотношение $P_{\text{вых лин}}$ к $P_{\text{вх}}$.

Примечание. Для модельных значений также указаны предельные значения погрешности по уровню ($\pm 3\sigma$).

Зависимости на рис. 4 наглядно демонстрируют следующее:

- наблюдается характерный нелинейный вид зависимости параметра КПД от входной мощности. Значение параметра КПД в диапазоне входной мощ-

ности от ~ 50 до $\sim 1,320$ Вт изменяется в диапазоне от 0,527 до 0,935 о.е.;

- линейная модель с параметрами КПМ и P_c хорошо описывает зависимость выходной мощности от входной мощности. Значение абсолютной ошибки, по уровню $\pm 3\sigma$ между измеренными и модельными значениями выходной мощности не превышает

от $\pm 6,5$ Вт. Это составляет не более 0,55% от уровня максимальной измеренной выходной мощности;

- значения статистической погрешности определения в модели параметров КПМ и P_c находятся в достаточно узком диапазоне. Значения параметров с погрешностью по уровню $\pm 3\sigma$ составляют $(0,950 \pm 0,002)$ о.е. и $(19,3 \pm 1,3)$ Вт соответственно;

Рис. 4. Результаты применения энергетической модели ЭПА

- линия значений КПД, полученная с применением модельной зависимости выходной от входной мощности, удовлетворительным образом описывает точки значений КПД, полученные стандартным образом с использованием измеренных значений выходной и входной мощностей. Абсолютные значения ошибки по уровню $\pm 3\sigma$ составляют от минус 0,025 до 0,021 о.е. Для рабочего диапазона выходной мощности ошибка составляет менее ($\pm 0,011$) о.е. При этом значения параметра КПД изменяются в диапазоне от 0,527 до 0,935 о.е.

Таким образом, на базе реальных экспериментальных данных подтверждено следующее:

- линейная модель энергетических характеристик ЭПА хорошо описывает полученные экспериментальные данные. Точность, обеспечиваемая моделью ошибки менее ($\pm 0,55\%$), более чем удовлетворяет стандартному критерию точности инженерных расчётов — ошибка должна быть не более ($\pm 3\%$);
- применение линейной модели с использованием параметров КПМ и P_c для описания энергетических параметров ЭПА с достаточной для инженерных анализов точностью, эквивалентно применению стандартного параметра КПД.

Приведем также результаты оценки энергетических характеристик более сложной ЭПА, имеющей в своем составе стабилизаторы напряжения шин 100 и 27 В, устройства заряда и разряда АБ. Рассматриваемые ЭПА условно обозначены номерами от 1 до 4 и имеют отличающиеся между собой схемы подключения преобразователей электроэнергии. Кроме того, ЭПА № 1 являются зарубежной разработкой, а ЭПА № 2, 3 и 4 — отечественных производителей.

Полученные с помощью разработанной методики значения КПМ и мощности собственного потребления ЭПА приведены в табл. 8.

Относительная ошибка по мощности нагрузки, полученная в результате обработки экспериментальных данных по предложенной методике, составляет не более 0,18%.

Точность (3σ) модельной оценки параметра КПМ узлов ЭПА составляет от 0,0012 до 0,0189 относительно значений КПМ узлов ЭПА в диапазоне $0,8886 \div 0,9950$. Точность (3σ) модельной оценки параметра P_c составляет от 6,5 до 65,1 Вт при значениях собственного потребления ЭПА, составляющего $75 \div 90$ Вт для ЭПА средней мощности и $160 \div 180$ Вт для ЭПА большой мощности.

Полученные параметры линейной аппроксимации зависимости параметров ЭПА используются следующим образом — при проведении энергетических расчётов виткового энергобаланса применяются значения КПМ, вычисленные как $(\text{КПМ} - 3\sigma)$, а значение собственного потребления ЭПА — $(P_c + 3\sigma)$.

Такой подход гарантирует, что фактические значения энергетических параметров ЭПА будут не хуже указанных в табл. 8 с вероятностью 99,7%. Соответственно рассчитанные на этапе проектирования значения мощности источников с указанной доверительной вероятностью обеспечат положительный энергобаланс при номинальных значениях параметров.

Для этого дополнительно требуется около 0,5% мощности БС и энергоёмкости АБ относительно

нулевого энергобаланса (при номинальных значениях параметров). С учётом обязательных проектных запасов по мощности БС и энергоёмкости комплекта АБ (~5%) положительный энергобаланс будет обес-

печен гарантированно. То есть «затраты» на гарантированный учёт неопределённостей по параметрам ЭПА требует менее 10% от проектных энергетических запасов на уровне СЭП.

Таблица 8

Значения КПМ узлов и мощности собственного потребления ЭПА

ЭПА	K_{100}	K_{py}	K_{zy}	K_{27}	P_c	σ_{abs}	$\sigma_{отн}$
№1	0,9946±0,0060	0,9786±0,0084	0,9324±0,0111	—	112,3±65,1	16,3	0,14
№2	0,9790±0,0021	0,9536±0,0030	0,9687±0,0051	0,9144±0,0189	131,2±29,1	21,3	0,14
№3	0,9950±0,0018	0,9723±0,0021	0,9483±0,0042	0,8886±0,0087	78,2±12,3	8,3	0,11
№4	0,9797±0,0012	0,9790±0,0030	0,9669±0,0033	0,9703±0,0048	69,0±6,5	8,5	0,18

K_{100} – коэффициент передачи мощности от БС на шину 100 В [о.е.];

K_{py} – коэффициент передачи мощности от АБ на шину 100 В [о.е.];

K_{zy} – коэффициент передачи мощности от БС к АБ [о.е.];

K_{27} – коэффициент передачи мощности от шины 100 В на шину 27 В [о.е.];

P_c – собственное потребление ЭПА [Вт];

σ_{abs} – абсолютная ошибка (значение СКО) модельной оценки мощности нагрузки по шине «100 В», относительно экспериментальных результатов;

$\sigma_{отн}$ – относительная ошибка – отношение абсолютной ошибки к максимальному экспериментальному значению мощности нагрузки по шине «100 В».

Предложенная методика оценки энергетической эффективности ЭПА СЭП может применяться как непосредственно при проведении расчета энергобаланса КА и задания требований к составным частям СЭП, так и при разработках систем электропитания других промышленных объектов.

Литература

1. Patel Mukund R. 1942-Spacecraft power systems / Mukund R. Patel p.cm. Includes bibliographical references and index. (alk. paper).
2. Handbook of Space Technology Edited by Wilfried Ley, Klaus Wittmann and Willi Hallmann © 2009 John Wiley & Sons, Ltd.
3. Аникин А.С. Электропитание космических аппаратов: учеб. пособие. – Томск: ТУСУР, 2014. – 177 с.
4. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – 13-е изд., испр. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 544 с.
5. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ: практ. руководство. – М.: Мир, 1982.
6. Нестеришин М.В. Методика определения энергетических параметров энергопреобразующей аппаратуры системы электропитания космических аппаратов / М.В. Нестеришин, Р.В. Козлов, А.В. Журавлев // Решетневские чтения [Электронный ресурс]: матер. XXI Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева (08–11 нояб., г. Красноярск): в 2 ч. / под общ. ред. Ю.Ю. Логинова. – Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2017. – Ч. 1. – С. 302–303.
7. Соустин Б.П., Системы электропитания космических аппаратов / Б.П. Соустин, В.И. Иванчура, А.И. Чернышев, Ш.Н. Ислаев. – Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская изд. фирма, 1994. – 318 с.
8. Чеботарев В.Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения : учеб. пособие / В.Е. Чеботарев, В.Е. Косенко. – Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т, 2011. – С. 334–340.

Нестеришин Михаил Владленович

Начальник отд. бортовых систем электропитания космических аппаратов акционерного общества «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф. Решетнева
Ленина ул., д. 52, г. Железногорск, Россия, 692972
Тел.: +7 (391-9) 76-41-57
Эл. почта: Micky_nest@iss-reshetnev.ru

Букреев Виктор Григорьевич

Д-р техн. наук, профессор,
Томский политехнический университет (НИ ТПУ)
Ленина ул., д. 30, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 56-40-45
Эл. почта: bukreev@tpu.ru

Козлов Роман Викторович

Начальник группы отд. бортовых систем электропитания космических аппаратов акционерного общества «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева
Ленина ул., д. 52, г. Железногорск, Россия, 692972
Тел.: +7 (391-9) 76-41-57
Эл. почта: krv@iss-reshetnev.ru

Журавлев Александр Викторович

Инженер-конструктор отд. бортовых систем электропитания космических аппаратов акционерного общества «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева
Ленина ул., д. 52, г. Железногорск, Россия, 692972
Тел.: +7 (391-9) 76-41-57
Эл. почта: zhuravlev@iss-reshetnev.ru

Nesterishin M.V., Bukreev V.G., Kozlov R.V., Zhuravlev A.V.

Method to estimate the energy efficiency of Power Conditioning Units in Spacecrafts Electric Power Systems

This article provides a definition of energy parameters of Power Conditioning Units (PCU), such as Power Transfer Factor (PTF) and intrinsic power consumption. It describes the method to define PTF and PCU power consumption.

Keywords: efficiency factor, power transfer factor, own power consumption, power conditioning units, spacecraft electric power system.

doi: 10.21293/1818-0442-2018-21-1-112-118

References

1. Patel Mukund R. 1942-Spacecraft power systems / Mukund R. Patel p.cm. Includes bibliographical references and index. (alk. paper).
2. Handbook of Space Technology Edited by Wilfried Ley, Klaus Wittmann and Willi Hallmann © 2009 John Wiley & Sons, Ltd.
3. Anikin A.S. Uchebnoe posobie: Jelektropitanie kosmicheskikh apparatov. Tomsk, TUSUR, 2014. 177 p.
4. Bronshtejn I.N., Semendjaev K.A. Spravochnik po matematike dlja inzhenerov i uchashhihsja vtuzov. 13-e izd., ispravlennoe. M., Nauka, Gl. red. fiz.-mat. lit., 1986. 544 p.
5. Shup T. Reshenie inzhenernykh zadach na EVM. Prakticheskoe rukovodstvo. Moskva, Mir 1982.
6. Metodika opredeleniya energeticheskikh parametrov energopreobrazuyushchei apparatury sistemy elektropitaniya kosmicheskikh apparatov / M.V. Nesterishin, R.V. Kozlov, A.V. Zhuravlev // Reshetnevskie chteniya [elektronnyi resurs]: materialy KhKhI Mezhdunar. nauch-prakt. konf., posvyashch. pamyati general'nogo konstruktora raketno-kosmicheskikh sistem akademika M.F. Reshetneva (08–11 noyab., g. Krasnoyarsk): v 2 ch. / pod obshch. red. Yu.Yu. Loginova. Krasnoyarsk: SibGU im. M.F. Reshetneva, 2017, Ch. 1, pp. 302–303.
7. Soustin B.P. Sistemy elektropitaniya kosmicheskikh apparatov / B.P. Soustin, V.I. Ivanchura, A.I. Chernyshev, Sh.N. Islyaev. Novosibirsk: VO «Nauka». Sibirskaya izdatel'skaya firma, 1994. 318 p.
8. Chebotarev V.E. Osnovy proektirovaniya kosmicheskikh apparatov informatsionnogo obespecheniya: ucheb.

posobie / V.E. Chebotarev, V.E. Kosenko; Sib. gos. aerokosmich. un-t. Krasnoyarsk, 2011. P. 334–340.

Mikhail V. Nesterishin

Head of Spacecraft on-board power systems division, Joint-Stock Company «Academician M.F. Reshetnev «Information satellite systems»
52, Lenina st., Zheleznogorsk, Russia, 692972
Phone.: +7 (3919) 76-41-57
Email: Micky_nest@iss-reshetnev.ru

Viktor G. Bukreev

Doctor of Engineering Sciences, professor, Tomsk Polytechnic University
30, Lenina st., Tomsk, Russia, 634050
Phone.: +7 (382-2) 56-40-45
Email: bukreev@tpu.ru

Roman V. Kozlov

Head of Spacecraft on-board power systems sector, Joint-Stock Company «Academician M.F. Reshetnev «Information satellite systems»
52, Lenina st., Zheleznogorsk, Russia, 692972
Phone.: +7 (391-9) 76-41-57
Email: krv@iss-reshetnev.ru

Alexander V. Zhuravlev

Engineer-designer, Spacecraft on-board power systems division, Joint-Stock Company «Academician M.F. Reshetnev «Information satellite systems»
52, Lenina st., Zheleznogorsk, Russia, 692972
Phone.: +7 (391-9) 76-41-57
Email: zhuravlev@iss-reshetnev.ru