

## АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ТИПА «АИСТ-2»

© 2024

**М. Р. Морданов** инженер;  
Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королёва;  
[mordanovmarsel@gmail.com](mailto:mordanovmarsel@gmail.com)

**С. Л. Сафронов** кандидат технических наук, доцент кафедры космического машиностроения  
Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королёва;  
[safronov@ssau.ru](mailto:safronov@ssau.ru)

Предложена система электропитания, предназначенная для обеспечения электроэнергией систем космического аппарата. Она обеспечивает сохранение конструктивных характеристик солнечной батареи прототипа и позволяет устанавливать средства обеспечения теплового режима фотоэлектрической батареи с сохранением стоимости производства солнечной батареи прототипа. Рассмотрены различные виды концентраторов солнечной энергии: концентраторы в виде отдельных выпуклых линейных линз Френеля, концентраторы «Flexible Array Concentrator Technology», концентраторы типа «Stretched Lens Array». Представлена методика повышения характеристик солнечной батареи космического аппарата. В методику входит расчет различных видов концентраторов, типов фотоэлектрических преобразователей и видов каркасов солнечной батареи. В качестве примера реализации методики разработана конструкция панелей солнечной батареи. Приведена сравнительная таблица характеристик солнечной батареи до и после модернизации.

*Малый космический аппарат; система электропитания; концентраторы солнечной энергии; мощность солнечной батареи; система обеспечения теплового режима*

---

**Цитирование:** Морданов М.Р., Дементьев О.В., Сафронов С.Л. Анализ и совершенствование характеристик солнечной батареи малого космического аппарата типа «АИСТ-2» // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2024. Т. 23, № 1. С. 55-66. DOI: 10.18287/2541-7533-2024-23-1-55-66

### Введение

Современные космические аппараты (КА) предъявляют повышенные требования к энергоэффективности системы электропитания (СЭП) в широком диапазоне температур. Ключевым элементом СЭП является солнечная батарея (СБ). СБ предназначена для выработки большой удельной мощности при минимальной массе. Увеличение эффективности СБ позволяет увеличить энергооборуженность КА при сохранении массогабаритных характеристик [1].

Состав и устройство СБ и её элементов определяют эффективность выработки энергии. Для генерации электрической энергии в настоящее время используются фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) на основе кремния (Si), теллурида кадмия (CdTe), арсенида галлия (GaAs), а также многопереходные солнечные элементы.

Многопереходные солнечные элементы – это солнечные элементы с несколькими p-n переходами, изготовленные из различных полупроводниковых материалов. P-n-переход каждого материала будет вырабатывать электрический ток в ответ на разные длины волн света. Использование нескольких полупроводниковых материалов обеспечивает поглощение более широкого диапазона длин волн, повышая эффективность преобразования солнечного света в электрическую энергию [2].

ФЭП с одним переходом имеют максимальную теоретическую эффективность 33,16%. Теоретически бесконечное количество переходов будет иметь предельную эффективность 86,8% при высококонцентрированном солнечном свете.

Одним из способов повышения характеристик СБ является увеличение интенсивности светового потока на ФЭП. Для увеличения интенсивности светового потока используются концентраторы, обеспечивающие фокусировку солнечного света в полосу или круг на поверхности ФЭП, поскольку ток и напряжение в элементах ФЭП возрастают с увеличением интенсивности светового потока. Это способствует уменьшению необходимой площади ФЭП.

Существует множество типов концентраторов, основные типы – это фокусирующие и отражающие концентраторы. Фокусирующие концентраторы представляют собой конструкцию с линзой, которая фокусирует поток. Отражающие концентраторы представляют конструкцию с зеркальной поверхностью, которая переотражает световой поток.

Фотоэлектрические преобразователи на основе соединений «А<sup>3</sup>В<sup>5</sup>» для преобразования концентрированного излучения, с помощью фотоэлектрических преобразователей для концентрированного излучения (КФЭП), нашли своё применение для питания КА в дальнем космосе, где ослаблено солнечное излучение.

Применение концентраторов повышает КПД солнечной батареи, однако усложняет конструкцию СБ, так как требует ориентации на Солнце с точностью до 2° [3].

На рис. 1 показана зависимость коэффициента преобразования энергии  $\gamma$  от угла  $\alpha$  ориентации для обычной панели (кривая 1) и панели с концентратором (кривая 2) [4].

Концентрация солнечного излучения на ФЭП приводит к их повышенному ультрафиолетовому облучению и значительному нагреву. При увеличении коэффициента концентрации светового потока до  $k = 1,75$  температура преобразователя может увеличиться до 100°C (табл. 1) [4].

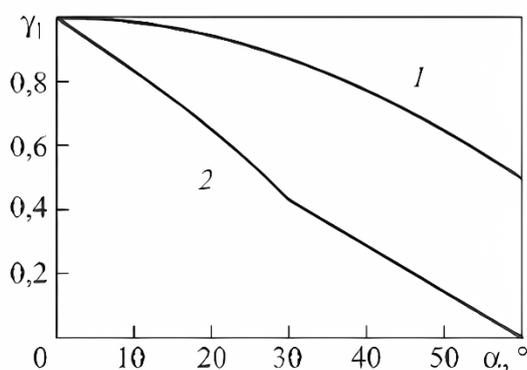


Рис. 1. Зависимость коэффициента преобразования энергии  $\gamma$  от угла ориентации панели  $\alpha$  для обычной (1) и с концентратором (2)

Таблица 1. Зависимость КПД фотоэлектрических преобразователей от температуры

Тип ФЭП	Базовый режим $T = 28^\circ\text{C}$	$k = 1,0$ $T = 58^\circ\text{C}$	$k = 1,75$ $T = 100^\circ\text{C}$
Si	13,5	11,9	9,7
Si с повышенным КПД	16,0	14,2	11,6
С двойным p-n переходом	22,0	20,7	18,8
С тройным p-n переходом	25,0	23,3	20,9

На рис. 2 для ФЭП на основе AlGaAs гетероструктур представлена зависимость КПД ( $\eta$ ) ФЭП от температуры ( $T$ ) [5].

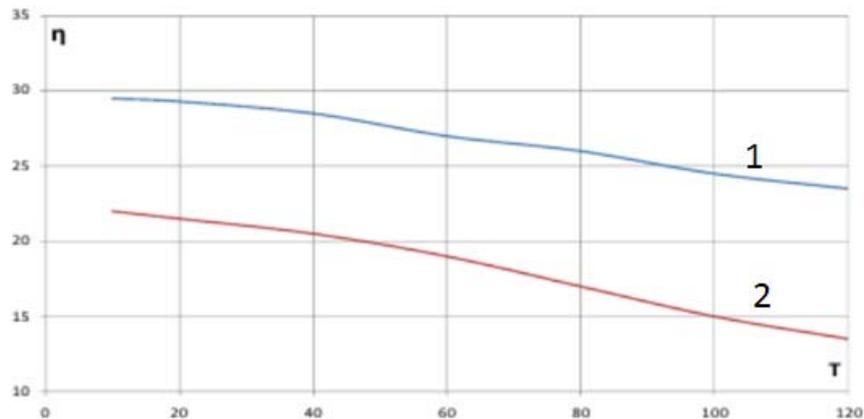


Рис. 2. Зависимость КПД ( $\eta$ ) фотоэлектрических преобразователей на основе кремния от температуры ( $T$ ) фотоэлектрических преобразователей для коэффициента концентрации  $k = 1000$  (1) и неконцентрированного (2) потока [5]

СБ с концентраторами позволяют улучшить радиационную стойкость и, как следствие, повысить удельный энергоём. Вместе с тем СБ с концентраторами не нашли широкого применения ввиду следующих недостатков:

- имеют большую сложность исполнения по сравнению с плоскими СБ;
- имеют сравнительно большую массу по сравнению с плоскими СБ;
- чрезмерный нагрев ФЭП, вследствие чего необходимо применение систем охлаждения.

Рассмотрим некоторые конструкции солнечных концентраторов.

Модули с концентраторами в виде отдельных выпуклых линейных линз Френеля представлены на рис. 3.

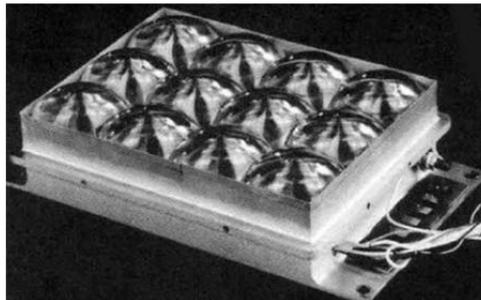


Рис. 3. Модуль с концентраторами в виде отдельных выпуклых линз Френеля

В концентраторах типа «Stretched Lens Array» («SLA») используется продольно упругий материал линзы. Он натягивается между арками, которые складываются при транспортировке (рис. 4).

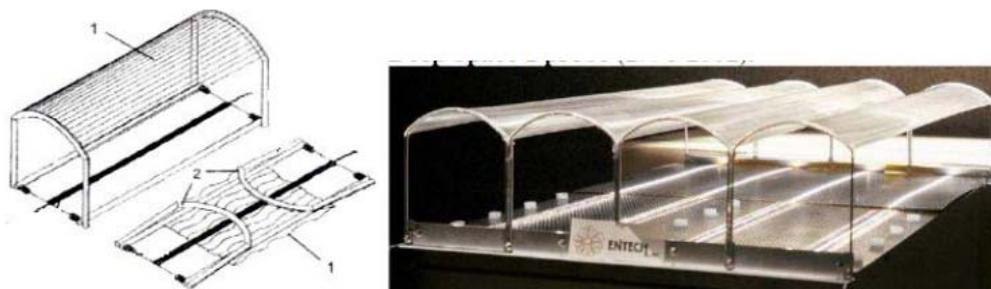


Рис. 4. Общий вид концентратора «Stretched Lens Array»,  
1 – линза; 2 – арка

Концентраторы Flexible Array Concentrator Technology («ФАСТ») являются легкими высокоэффективными отражающими концентраторами и имеют значительно меньшую стоимость. «ФАСТ» – отражатель, который может использоваться как на гибких панелях при скручивании, так и на плоских панелях СБ (рис. 5).

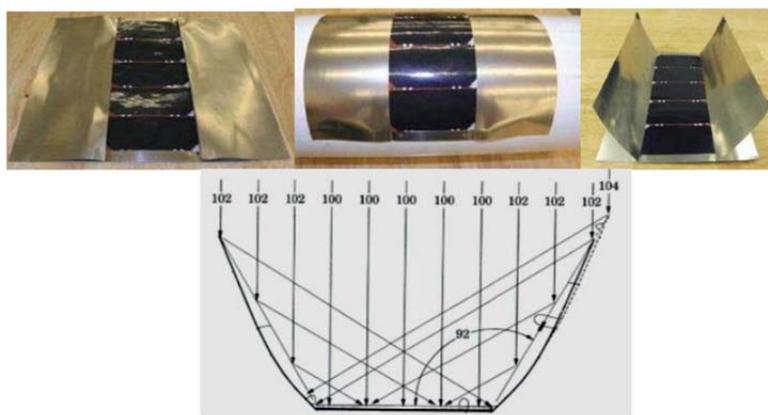


Рис. 5. Концентраторы «Flexible Array Concentrator Technology»

Существуют СБ, выполненные по каркасной схеме. Такая схема более применима для размещения концентраторов на основе жёстких линейных линз Френеля (рис. 6).



Рис. 6. Фрагменты каркаса солнечной батареи

Различные виды каркаса и удельная масса СБ, построенной на этих каркасах, показаны в табл. 2 [4].

Таблица 2. Удельная масса солнечной батареи при использовании различных каркасов [4]

Тип каркаса СБ	Удельная масса, кг/м <sup>2</sup>	
	На основе кремния	На основе многокаскадных GaAs ФЭП
Сетка	1,55	1,88
Струна	1,45	1,55
Сотопанель	1,63	1,69
Металл	1,63	1,69

### Постановка задачи

Необходимо разработать СЭП малого космического аппарата (МКА) типа «АИСТ-2Д» на основе метода концентрации солнечной энергии при помощи концентраторов. Разработанная СЭП должна обеспечивать:

- среднесуточную мощность питания бортовой аппаратуры не менее 285 Вт для орбиты высотой 480 км и наклоном 97,272°;
- сохранение конструктивных характеристик СБ прототипа;
- возможность размещения средств обеспечения теплового режима батареи фотоэлектрической (БФ);
- сохранение стоимости производства СБ прототипа.

### Исходные данные

МКА «АИСТ-2Д» большую часть витка находится в солнечной ориентации. Солнечная ориентация предполагает направление солнечных батарей на Солнце. На участке работы целевой аппаратуры и в сеансе связи МКА с наземным комплексом управления и приёма информации дистанционного зондирования Земли должна обеспечиваться заданная ориентация МКА в орбитальной системе координат (ОСК).

Максимальная суммарная продолжительность съёмки оптико-электронной аппаратурой на каждом витке орбиты составляет не более 14 минут.

Мощность СБ в конце целевого функционирования МКА при нормальной ориентации на Солнце ( $\cos \alpha = 1$ ) составляет не менее 1040 Вт в конце срока активного существования (САС). Среднесуточное значение  $\cos \alpha = 0,39$ .

### Построение кривой мощности

ФЭП в открытом космосе подвергаются воздействию тяжелых заряженных частиц естественных радиационных поясов Земли. Облучение негативно влияет на ФЭП, разрушая их структуру и ухудшая характеристики. Так, эквивалентный поток за 5 лет САС по существующим оценкам составит величину около  $10^{14}$  частиц/см<sup>2</sup>. Для расчётов принимаем коэффициент деградации,  $k_{rp} = 0,95$  [6]. Потери за счёт ухудшения прозрачности защитного покрытия прямо пропорциональны его толщине. При толщине стекла 0,12 мм суммарное ухудшение прозрачности за счёт воздействия ультрафиолета не превысит 2%, соответственно коэффициент деградации по току за счёт воздействия ультрафиолетового излучения равен  $k_{uv} = 0,98$  [7].

При эксплуатации КА подвергается воздействию солнечных и галактических космических лучей, а также магнитосферной плазмы. В результате этих воздействий наблюдается электростатическое накопление потенциалов на диэлектрических поверх-

ностях КА и потери за 5 лет от электростатических накоплений составляют  $k_{el} = 0,997$  [8].

ФЭП в процессе полёта будут подвергаться воздействию метеорного вещества. Повреждающее воздействие заключается в ухудшении прозрачности защитного стекла, но частичное повреждение площади ФЭП и наличие на нём даже нескольких трещин не приводит к существенному уменьшению тока. Деграция батареи фотоэлектрической за 5 лет составит  $k_{mm} = 0,995$  [6]. Общий коэффициент деграции ФЭП за 5 лет составит:

$$k_d = k_{rp} k_{uv} k_{el} k_{mm} = 0,95 \cdot 0,98 \cdot 0,997 \cdot 0,995 = 0,92.$$

Средний коэффициент деграции ФЭП за 1 год составит:

$$k_d^{\text{год}} = 1 - \frac{1 - k_d}{5} = 1 - \frac{1 - 0,92}{5} = 0,984.$$

Общий коэффициент деграции ФЭП за 3 года составит:

$$k_d^3 \text{ года} = 1 - 3(1 - k_d^{\text{год}}) = 1 - 3(1 - 0,984) = 0,952.$$

Построим график падения мощности БФ для МКА «АИСТ-2Д» с учётом деграции для эксплуатации в течение не менее 3 лет. Значение мощности БФ на конец срока активного существования составляет  $P_{\text{БФ}} = 1040$  Вт. Значение мощности БФ на начало  $T_{\text{АС}}$  с учётом коэффициента деграции БФ за три года и с учётом усреднённого коэффициента деграции в 1,6% должно составлять:

$$P_{\text{БФ}}^{\text{нач}} = \frac{P_{\text{БФ}}}{k_d^3 \text{ года}} = \frac{1040}{0,952} = 1092,4 \text{ Вт}.$$

До истечения САС СБ вырабатывает больше электроэнергии, чем нужно бортовой аппаратуре. Излишки электроэнергии можно использовать для повышения длительности съёмки на виток. Программа работы целевой аппаратуры после окончания САС изменится ввиду дефицита мощности. Уменьшатся интервалы съёмки и сеансы передачи информации на наземный комплекс управления. График зависимости длительности съёмки на витке в зависимости от мощности СБ представлен на рис. 7.

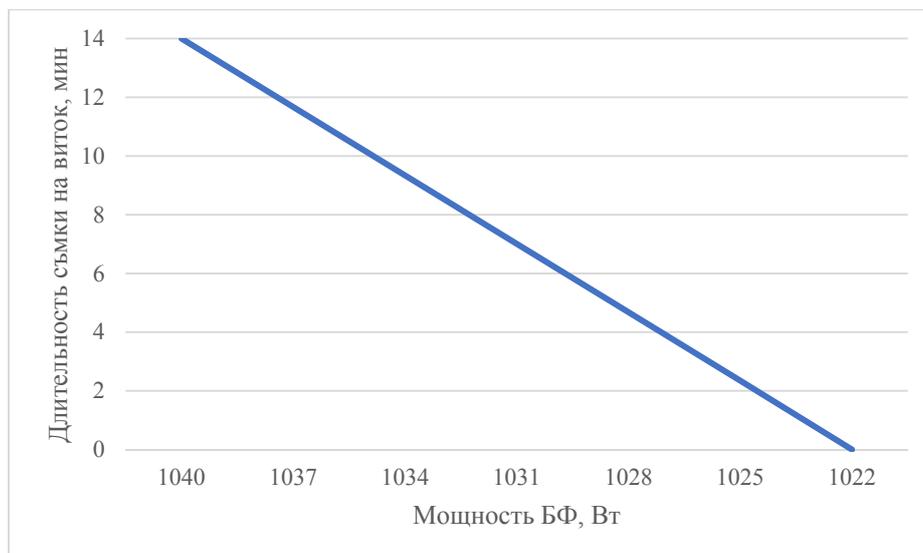


Рис. 7. Зависимость длительности съёмки от мощности солнечной батареи

## Методика выбора проектных параметров солнечной батареи

Блок-схема алгоритма выбора проектных параметров системы электропитания представлена на рис. 8. Методика включает в себя:

1. Задание характеристик СБ МКА прототипа, ввод характеристик: удельной массы СБ ( $M_{СБ\text{уд}}$ ), площади ( $S_{СБ}$ ), вырабатываемой мощности СБ ( $P_{БФ}$ ), среднесуточной мощности потребления БА ( $P_{\text{ср.сут}}$ ), собственного потребления СЭП, количества ФЭП, массовых и геометрических ограничений, требований по укладке и разворачиванию СБ, количества панелей.

2. Формирование набора исходных данных для расчёта (формирование ограничений для дальнейшего расчёта, а также базовых данных для расчёта в зависимости от орбиты КА).

3. Выбор конструкции каркаса СБ: типа каркаса, геометрических характеристик каркаса, количества ячеек, материала изготовления, способа установки элементов ФЭП, способа установки концентраторов. Проводится расчёт прочности, основываясь на нём выбираются варианты.

4. Выбор концентраторов: подбор материала линзы, геометрических и оптических параметров, коэффициента концентрации светового потока ( $k$ ). Проводится расчёт энергобаланса КА, на его основе выбираются варианты.

5. Подбор КФЭП с максимальным КПД в зависимости от светового пятна и интенсивности выбранных концентраторов, на основе которого выбираются варианты.

6. Расчёт параметров модернизированной СЭП в зависимости от типа каркаса, параметров концентраторов и КФЭП, возможности создания СБ с требуемыми характеристиками.

7. В случае невозможности создания СБ с требуемыми характеристиками вводятся рекомендации по изменению исходных данных и ограничений.

8. Задание новых геометрических, конструктивных и технологических ограничений и ввод новых рассчитанных параметров.

9. Формирование множества решений многокритериальной задачи. Лицо, принимающее решение, анализирует возможные варианты для дальнейшего проектирования.

10. Конструирование модернизированной СБ по полученным характеристикам, разработка конструкции.

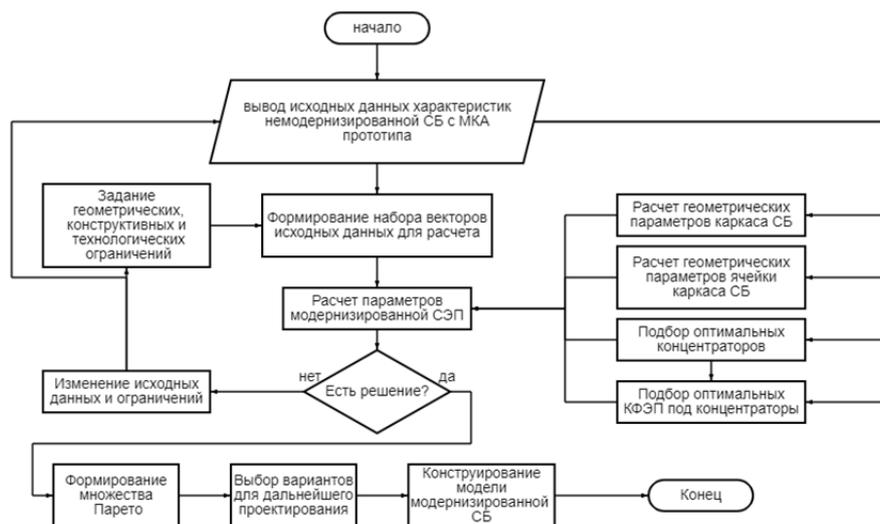


Рис. 8. Блок-схема алгоритма выбора проектных параметров системы электропитания

### Модель солнечных концентраторов

В качестве солнечных концентраторов были выбраны тонкие линейные линзы Френеля с концентрированием солнечного света в полосу. Данный тип концентратора сочетает в себе высокий коэффициент концентрации, простоту производства и приемлемую удельную массу. Такие концентраторы позволяют повысить удельный энергоём с  $1 \text{ м}^2$  ФЭП, тем самым уменьшив количество дорогостоящих GaAs элементов. Схематично концентратор в виде линейной линзы Френеля в разрезе представлен на рис. 9.

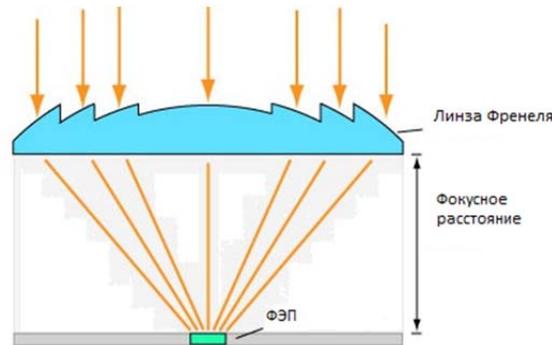


Рис. 9. Солнечный концентратор в виде линзы Френеля

Для построения солнечной батареи с концентраторами были выбраны линейные концентраторы Френеля с коэффициентом концентрации  $k = 6$ . При размере концентратора  $60 \times 100 \text{ мм}$  и площади  $S_{\text{л}} = 6000 \text{ мм}^2$  площадь солнечного пятна составит:

$$S_{\text{сп}} = \frac{S_{\text{л}}}{k} = \frac{6000}{6} = 1000 \text{ мм}^2.$$

У концентратора в виде линзы Френеля с солнечным пятном в виде прямоугольника солнечное пятно будет иметь размеры  $10 \times 100 \text{ мм}$ . Для солнечной батареи с такими концентраторами были выбраны КФЭП Concentrator Triple Junction Solar Cell 3C42 [8] с размерами  $10 \times 10 \text{ мм}$ . КПД таких преобразователей находится в пределах от 30 до 38,8%. Проведём расчёт массы СБ:

$$M_{\text{СБ}} = M_{\text{уд\_каркас}} S_{\text{СБ}} + M_{\text{уд\_конц}} S_{\text{СБ}} + M_{\text{уд\_ФЭП}} S_{\text{ФЭП}},$$

где  $M_{\text{СБ}}$  – масса СБ;  $M_{\text{уд\_каркас}}$  – удельная масса каркаса,  $M_{\text{уд\_каркас}} = 3,7 \text{ кг/м}^2$  [9];  $M_{\text{уд\_конц}}$  – удельная масса концентратора в виде линз Френеля,  $M_{\text{уд\_конц}} = 0,313 \text{ кг/м}^2$  [9];  $M_{\text{уд\_ФЭП}}$  – удельная масса ФЭП,  $M_{\text{уд\_ФЭП}} = 0,75 \text{ кг/м}^2$  [9];  $S_{\text{СБ}}$  – площадь СБ;  $S_{\text{ФЭП}}$  – площадь ФЭП.

В табл. 3 представлены характеристики СБ в зависимости от параметров концентраторов и параметров каркаса.

Таблица 3. Характеристики солнечной батареи

Коэфф. концентрации	4	5	6	7	8
Площадь ФЭП, $\text{м}^2$	0,537	0,430	0,358	0,307	0,268
Площадь СБ, $\text{м}^2$	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36
Масса СБ, кг	13,09	10,89	8,72	7,84	6,96
Размеры ячейки, мм	45×110	55×110	65×110	75×110	85×110

### Разработка конструкции

Конструкция СБ разрабатывалась по следующим критериям: максимальная мощность, простота изготовления. Ограничением послужило сохранение исходной площади СБ, как на МКА прототипе. Разработанный каркас СБ состоит из ячеек, размер которых подбирался на основе размеров концентраторов в виде линейных линз Френеля. На рис. 10 – 14 представлена разработанная конструкция СБ. Размеры каркаса  $990 \times 780 \times 45$  мм в соответствии с габаритными размерами МКА прототипа, однако из-за установки концентраторов толщина СБ увеличилась, размер ячейки составляет  $65 \times 110$  мм. Суммарная площадь СБ, состоящей из 2 панелей по 3 створки в каждой, составляет  $S_{СБ} = 4,63 \text{ м}^2$ .

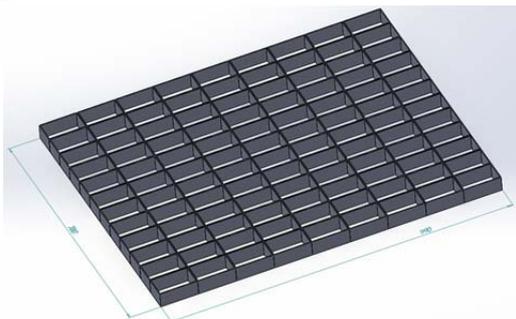


Рис. 10. Каркас панели солнечной батареи

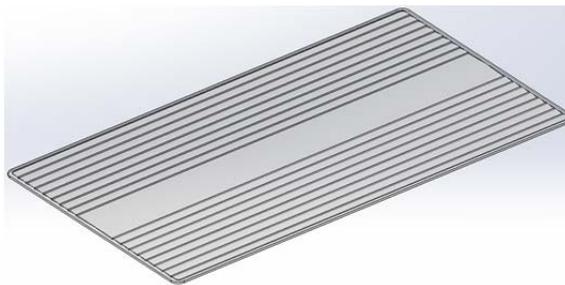


Рис. 11. Модель линейного концентратора Френеля

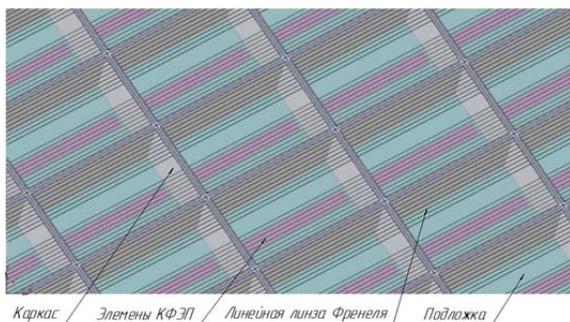


Рис. 12. Внешний вид наклеенных линз Френеля и наклеенных на подложку элементов фотоэлектрических преобразователей



Рис. 13. Внешний вид разложенной консоли крыла солнечной батареи

Вследствие утолщения БФ необходимо переработать узлы крепления БФ, в результате чего толщина пакета в сложенном состоянии увеличивается до 150 мм (рис. 14).

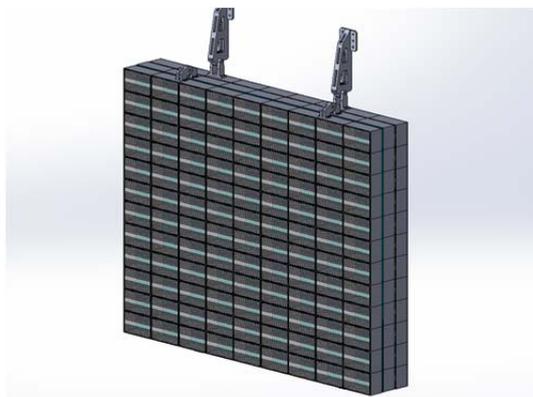


Рис. 14. Внешний вид пакета солнечной батареи

Сравнение характеристик СБ до и после модернизации представлены в табл. 4, расчёт мощности СБ вёлся с учётом КПД КФЭП Concentrator Triple Junction Solar Cell 3С42, равного 30%, неуказанные характеристики остались без изменений.

Таблица 4. Сравнение характеристик солнечной батареи

Характеристика	СБ до модернизации	СБ после модернизации
Мощность на конец САС, Вт	1040	1595
Площадь СБ, м <sup>2</sup>	4,72	4,63
Площадь ФЭП, м <sup>2</sup>	4,48	0,716
Масса СБ, кг	8	17,82
Толщина пакета, мм	102	150

Как видно из табл. 4, мощность СБ увеличилась на 53%, что позволит использовать излишки мощности на увеличение решаемых целевых и дополнительных задач.

Из расчёта стоимости 1 м<sup>2</sup> ФЭП, равного 5 млн. руб., стоимости 1 м<sup>2</sup> КФЭП Concentrator Triple Junction Solar Cell 3С42, равного 8 млн. руб., стоимости 1 м<sup>2</sup> линейных линз Френеля, равного 0,35 млн. руб. и стоимости вывода на орбиту 1 кг груза равного 0,25 млн. руб., можно сделать вывод, что разработанная СБ позволяет уменьшить её стоимость и, как следствие, стоимость КА.

### Заключение

Разработана методика выбора проектных параметров системы электропитания малого космического аппарата. В методику входит расчёт различных видов концентраторов, типов ФЭП, видов каркасов солнечной батареи. В качестве примера реализации методики разработана конструкция панелей солнечной батареи, подобраны солнечные концентраторы в виде отдельных линейных линз Френеля. Приведена сравнительная таблица солнечной батареи до и после модернизации. Достоинством разработанной солнечной батареи является существенное уменьшение площади фотоэлектрических преобразователей при незначительном увеличении массы и незначительном изменении конструкции существующей солнечной батареи космического аппарата.

### Библиографический список

1. Галиновский А.Л., Денисов А.В., Гаврилова Е.А., Денисова М.А., Чертов В.Г., Еремин С.А. Проектирование каркасов солнечных батарей интегрального типа из углепластика для космического аппарата // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2019. № 12 (717). С. 49-60. DOI: 10.18698/0536-1044-2019-12-49-60
2. Green M.A. Third generation photovoltaics: Advanced solar energy conversion. Springer, 2003. 65 p. DOI: 10.1007/b137807
3. Байбородов А.А., Васильева Т.С., Волков М.В., Кузнецов А.Д., Двирный В.В. Солнечные батареи с концентраторами светового потока // Сборник трудов Международной молодёжной научной конференции «XIV Королевские чтения» (3-5 октября 2017 г., Самара). Т. 1. Самара: Издательство Самарского университета, 2017. С. 8-13.
4. Казанцев Ю.М., Кремзуков Ю.А. Автоматизированная система контроля энергопреобразующей аппаратуры системы электропитания космического аппарата // Известия Томского политехнического университета. 2009. Т. 314, № 4. С. 138-141.

5. Таран А.А., Воронин С.М. Эффективность фотоэлектрических преобразователей в концентрированном солнечном излучении // Вестник аграрной науки Дона. 2011. № 3 (15). С. 35-40.

6. Белан Н.В. Бортовые энергосистемы космических аппаратов на основе солнечных и химических батарей. Харьков: Харьковский авиационный институт, 1992. 191 с.

7. Дыбля А.Ю., Кузина Т.А., Самойлов В.В. Расчёт солнечных батарей космических аппаратов спутниковой системы связи на низкой круговой орбите // Инновационная наука. 2020. № 4. С. 28-31.

8. Слыщенко Е.В., Наумова А.А., Лебедев А.А., Генали М.А., Вагапова Н.Т., Жалнин Б.В. Обзор современных фотоэлектрических преобразователей космического назначения на основе соединений АПВВ // Сибирский журнал науки и технологий. 2018. Т. 19, № 2. С. 308-324. DOI: 10.31772/2587-6066-2018-19-2-308-324

9. Рябцева М.В., Лебедев А.А., Наумова А.А., Болотин А.М., Вагапова Н.Т., Черенков П.Г. Анализ конструкций перспективных солнечных батарей космических аппаратов // Инженерный журнал: наука и инновации. 2022. № 3 (123). DOI: 10.18698/2308-6033-2022-3-2162

## ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF CHARACTERISTICS OF POWER SUPPLY SYSTEMS FOR THE SMALL SPACE VEHICLE OF THE AIST-2 TYPE

© 2024

**M. R. Mordanov** Engineer;  
Samara National Research University, Samara, Russian Federation;  
[mordanovmarsel@gmail.com](mailto:mordanovmarsel@gmail.com)

**S. L. Safronov** Candidate of Science (Engineering), Associate Professor  
of the Department of Space Engineering;  
Samara National Research University, Samara, Russian Federation;  
[safronov@ssau.ru](mailto:safronov@ssau.ru)

The power supply system being created is intended to provide electricity to spacecraft systems. It ensures that the design characteristics of the solar battery of the prototype are preserved and makes it possible to install means to support the thermal conditions of the photovoltaic battery while maintaining the cost of production of the prototype solar battery. Various types of solar energy concentrators are considered: concentrators in the form of individual convex linear Fresnel lenses, Flexible Array Concentrator Technology concentrators, Stretched Lens Array concentrators. A method for improving the characteristics of the spacecraft solar system is presented. The methodology includes the calculation of various types of concentrators, types of photovoltaic converters and types of solar battery frames. As an example of the implementation of the methodology, the design of solar battery panels was developed. A comparative table of the solar battery before and after modernization is provided.

*Small spacecraft; power supply system; solar energy concentrators; solar battery power; thermal management system*

---

**Citation:** Mordanov M.R., Safronov S.L. Analysis and improvement of characteristics of power supply systems for the small space vehicle of the AIST-2 type. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2024. V. 23, no. 1. P. 55-66. DOI: 10.18287/2541-7533-2024-23-1-55-66

### References

1. Galinovsky A.L., Denisov A.V., Gavrilova E.A., Denisova M.A., Chertov V.G., Eremin S.A. Designing frames of integrated cfrp solar panels for spacecraft. *Proceedings of*

*Higher Educational Institutions. Machine Building*. 2019. No. 12 (717). P. 49-60. (In Russ.). DOI: 10.18698/0536-1044-2019-12-49-60

2. Green M.A. Third generation photovoltaics: Advanced solar energy conversion. Springer, 2003. 65 p. DOI: 10.1007/b137807

3. Bayborodov A.A., Vasil'eva T.S., Volkov M.V., Kuznetsov A.D., Dvirnyy V.V. Solnechnye batarei s kontsentratorami svetovogo potoka. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii «XIV Korolevskie Chteniya» (October, 3-5, 2017, Samara)*. V. 1. Samara: Samara University Publ., 2017. P. 8-13. (In Russ.)

4. Kazantsev Yu.M., Kremzukov Yu.A. Automated control system of energy-transducing equipment of spacecraft power-supply system. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2009. V. 314, no. 4. P. 138-141. (In Russ.)

5. Taran A.A., Voronin S.M. Photoelectric transformer efficiency in solar emission. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2011. No. 3 (15). P. 35-40. (In Russ.)

6. Belan N.V. *Bortovye energosistemy kosmicheskikh apparatov na osnove solnechnykh i khimicheskikh batarey* [Onboard power systems of spacecraft based on solar and chemical batteries]. Kharkov: Kharkov Aviation Institute Publ., 1992. 191 p.

7. Dyblya A.Yu., Kuzina T.A., Samoylov V.V. Calculation of solar batteries for spacecraft of a satellite communication system in low circular orbit. *Innovative Science*. 2020. No. 4. P. 28-31. (In Russ.)

8. Slyshchenko E.V., Naumova A.A., Lebedev A.A., Genali M.A., Vagapova N.T., Zhalnin B.V. The review of modern solar cells for space application based on AIII BV materials. *Siberian Journal of Science and Technology*. 2018. V. 19, no. 2. P. 308-324. (In Russ.). DOI: 10.31772/2587-6066-2018-19-2-308-324

9. Ryabtseva M.V., Lebedev A.A., Naumova A.A., Bolotin A.M., Vagapova N.T., Cherenkov P.G. Analysis of promising spacecraft solar cell designs. *Engineering Journal: Science and Innovation*. 2022. No. 3 (123). (In Russ.). DOI: 10.18698/2308-6033-2022-3-2162