

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ**

**«Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ**

**Студенттер мен жас ғалымдардың  
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»  
XIX Халықаралық ғылыми конференциясының  
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
XIX Международной научной конференции  
студентов и молодых ученых  
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»**

**PROCEEDINGS  
of the XIX International Scientific Conference  
for students and young scholars  
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»**

**2024  
Астана**

**УДК 001**

**ББК 72**

**G99**

**«ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024» студенттер мен жас ғалымдардың XIX Халықаралық ғылыми конференциясы = XIX Международная научная конференция студентов и молодых ученых «ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024» = The XIX International Scientific Conference for students and young scholars «ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024». – Астана: – 7478 б. - қазақша, орысша, ағылшынша.**

**ISBN 978-601-7697-07-5**

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

**УДК 001**

**ББК 72**

**G99**

**ISBN 978-601-7697-07-5**

**©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия  
ұлттық университеті, 2024**

## АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНЦЕНТРИРУЮЩИХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Хаймулдин Максат Юрьевич

[312maksat312@gmail.com](mailto:312maksat312@gmail.com)

Магистрант кафедры «Космическая техника и технологии» ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Научный руководитель – Д.М. Калманова

Высокопроизводительные фотоэлектрические системы, которые задействуют оптические компоненты для усиления солнечного света, именуются концентрирующими фотоэлектрическими системами (также известные, как CPV – concentrator photovoltaics) [1]. Их уникальность заключается в увеличении интенсивности света, попадающего на фотоэлектрический элемент, за счет сосредоточения с большей поверхности линзы на гораздо меньшую площадь высокоэффективного фотоэлемента.

Космические применения технологий CPV значительно уступают земным по распространенности. Основные направления исследований в области улучшения характеристик спутниковых энергосистем связаны с уменьшением их стоимости и веса. В этом контексте, благодаря их низкой стоимости и высокой производительности, CPV системы рассматриваются как перспективные для космических целей. Поэтому для получения достоверной информации о применении этой технологии в космосе стоит обратиться к проведенным в данной сфере исследованиям.

Известно, что эффективность фотоэлементов повышается при использовании концентрированного света. При высоких уровнях концентрации, определенные виды потерь в фотоэлементах либо не изменяются, либо увеличиваются в меньшей степени, чем коэффициент концентрации. Таким образом, существует оптимальная точка, при которой достигается максимальная эффективность. Однако при превышении этой точки начинается рост потерь, снижающий общую производительность. На рисунке 1 демонстрируется, как изменяются характеристики фотоэлементов MJ, GaAs и Si, часто применяемых в спутниковых технологиях, в зависимости от уровня концентрации [2]. Производительность CPV зависит как от типа фотоэлектрических элементов, так и от коэффициента концентрации. Следовательно, выбор типа фотоэлемента и коэффициент концентрации являются ключевыми факторами, влияющими на эффективность системы.

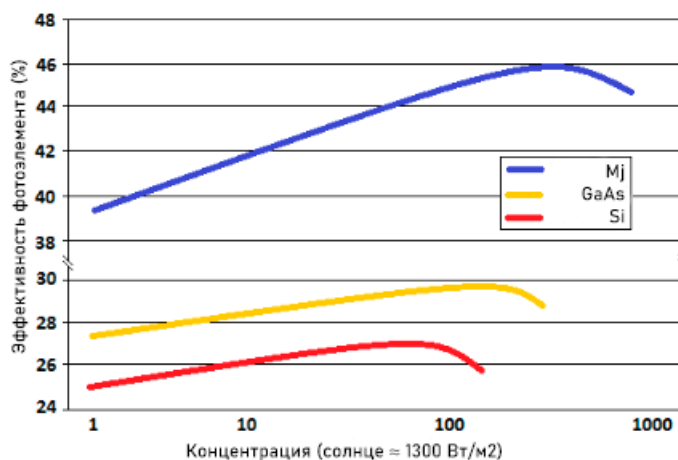


Рисунок 1 – Производительность различных фотоэлементов в зависимости от концентрации

Предполагается, что системы CPV должны быть легкими, иметь высокую производительность и стабильную выходную мощность [3]. Также, если учесть, что срок службы спутников составляет от 3 до 15 лет, то для обеспечения высокой производительности и стабильной выработки электроэнергии CPV должны быть устойчивы к воздействию космической среды. Например, основные воздействия космической среды, которым приблизительно подвергается спутник на низкой околоземной орбите: вакуум  $в 10^{-7}$  торр (0,133 мПа), около 16 термоциклов в сутки между  $-50^{\circ}\text{C}$  и  $125^{\circ}\text{C}$ , солнечная радиация в  $1367 \text{ Вт/м}^2$ , протонное излучение в 1 МэВ и воздействие атомарного кислорода [4]. Учитывая, что большая часть спутников функционирует на низких околоземных орбитах, актуально провести комплексный анализ именно в контексте этих условий.

Таким образом, цель нашего исследования заключается в проведении анализа на основе существующих теоретических и практических данных о CPV технологиях, находящих применение в космических проектах.

Для более комплексного охвата рассматриваются не только прикладные реализации, но и их некоторые лабораторные аналоги.

Таблица 1 – Данные о концентрирующих фотоэлектрических системах, задействованных в космических миссиях

Спутник	Тип концентратора	Коэффициент концентрации	Фотоэлемент	Итоги
APEX/1994 [5]	Отражатель	-	GaAs/ Ge	Неудача в начале миссии.
	Линза Френеля	-	GaAs/ GaSb	За год произошло 7-процентное снижение производительности.
METEOR/1995 [6]	Линза Френеля	-	-	Произошел взрыв в момент запуска.
STEX/1998 [7]	Отражатель	1.5	GaAs	Спутник вышел из строя на 4-м месяце.
Deep Space 1 /1998 [8]	Линза Френеля	7.14	GaIn/ GaAs/ Ge	Миссия завершена успешно.
Galaxy 11/1999, Anik F1/2000, PAS 1R/2000, Thuraya 1/2000, XM 1/2001, XM 2/2001 [9]	Отражатель	1.7	GaIn/ GaAs/ Ge	Из-за потемнения отражателей достаточная мощность не была обеспечена, после чего они вышли из строя.
Mighty-2/2000 [10]	-	3	GaAs	Результат неизвестен.
PROBA-2/2009 [11]	Отражатель	1.65	GaIn/ GaAs/ Ge	Снижение производительности оказалось более значительным, чем ожидалось.
TacSat4/2011 [12]	Линза Френеля	6	GaIn/ GaAs/ Ge	Отказ из-за снижения производительности и механической нестабильности.

Результаты, оценки и выводы в рамках данного анализа проводятся в первую очередь с использованием переменных, включенных в рассмотренные научные исследования. Следовательно, можно выделить четыре основные категории: тип фотоэлемента, параметры оптической конструкции, параметры механической конструкции, условия космической среды.

Тип фотоэлемента: в исследованиях обычно использовались фотоэлементы на основе Si, GaAs, GaInP/GaAs/Ge. Фотоэлементы на основе GaInP/GaAs/Ge оказались наиболее прочными и высокопроизводительными как в лабораторных, так и в космических испытаниях [1, 8].

Параметры оптической конструкции: оптимизация оптической конструкции концентраторов играет ключевую роль в повышении эффективности фотоэлектрических систем. Концентраты требуют специальной адаптации для соответствия космическим условиям, которые существенно отличаются от земных. Например, фотоэлементы, разработанные на базе GaInP/GaAs/Ge, демонстрируют оптимальную эффективность при концентрации солнечного света в 500 раз [2]. Однако, в анализируемых научных исследованиях уровень концентрации в CPV ограничивается лишь <10 кратным увеличением, что является недостаточным для достижения максимальной эффективности. Данная ограниченность объясняется тем, что более высокие и даже средние уровни концентрации часто предполагают необходимость в системах активного охлаждения. Такие системы сложнее в реализации и требуют дополнительных затрат энергии по сравнению с более простыми и энергоэффективными пассивными системами охлаждения. Следовательно, без достижения оптимального уровня концентрации, невозможно извлечь максимальную мощность от CPV.

Но, в свою очередь, научные исследования также указывают и на то, что использование CPV может снизить общую стоимость системы за счёт уменьшения необходимого количества фотоэлементов в сравнении с традиционными системами на основе плоских пластин.

Параметры механической конструкции: конструкция CPV отличается от традиционных плоских солнечных панелей за счет внедрения оптических элементов концентрации. Данные элементы делают необходимым наличие механизмов для трехосевого развертывания. Важно, чтобы как сама CPV система, так и поддерживающая её структура были спроектированы таким образом, чтобы выдерживать не только собственный вес, но и быть устойчивыми к внешним нагрузкам в процессе транспортировки и запуска. В одном из исследований, где данные аспекты были недооценены, блок линз CPV не выдержал механического воздействия, что привело к его разрушению.

Система охлаждения: концентрация солнечного излучения приводит к дополнительному повышению температуры фотоэлементов, достигая на околоземной орбите 125°C. Неэффективность системы охлаждения может существенно снижать производительность элементов. К примеру, на спутнике STEX из-за недостаточной эффективности охлаждения элементы вышли из строя и не смогли генерировать необходимую мощность. Сложности с использованием активных систем охлаждения из-за их веса и сложности подчеркивают необходимость внедрения легких и пассивных охлаждающих систем, способных эффективно снижать температуру.

Воздействия космической среды: космическая среда существенно отличается от земной и оказывает негативное влияние на эффективность работы и долговечность конструкционных материалов.

Тепловой цикл: находясь на низкой околоземной орбите, спутник испытывает чередование светлой ( $\approx 60$  минут) и темной ( $\approx 30$  минут) фаз. В течение года, проходя данный цикл около 5000 раз, спутник подвергается экстремальным температурным колебаниям от  $\approx 125^\circ\text{C}$  до  $-50^\circ\text{C}$  [13]. Было подтверждено, что CPV, испытанные на устойчивость к подобным температурным циклам, показали успех в испытаниях [11].

Солнечная радиация: данное излучение характеризуется наличием высокоэнергетических ультрафиолетовых волн. В процессе эксплуатации было выявлено, что УФ-волны могут приводить к изменению цвета или потемнению поверхностей концентраторов и фотоэлементов, что снижает интенсивность света, достигающего их. В результате, уже через год использования, CPV могут демонстрировать потери в производительности до 7% [7]. Согласно принятым стандартам, такие потери производительности могут считаться критическими, указывая на выход CPV из строя.

Излучение частиц: излучение, состоящее в основном из высокоэнергетических протонов и электронов с энергией от нескольких кэВ до сотен МэВ, может накапливаться на поверхностях или повреждать структуру материалов за счет столкновений с атомными ядрами. Наблюдения показывают, что такие повреждения изменяют оптические свойства материалов, влияя на их прозрачность и отражательную способность, а также приводят к деградации характеристик элементов. Для минимизации этих разрушительных эффектов рекомендуется использование устойчивых к излучению фотоэлементов, линз и/или защитных покрытий.

Вакуум: вакуум на низкой околоземной орбите может привести к формированию загрязняющего слоя на поверхности фотоэлементов и оптики концентраторов [14]. Это, в свою очередь, снижает количество света и ведет к потере эффективности. Для предотвращения подобных проблем рекомендуется применение материалов с низким уровнем или отсутствием газовой выделений в вакууме.

Атомарный кислород: атомарный кислород, который формируется на низких околоземных орбитах под действием ультрафиолетового излучения, приводит к эрозии контактирующих поверхностей. Это снижает эффективность фотоэлементов, что важно учитывать при выборе защитных покрытий.

В процессе разработки и производства концентрирующих фотоэлектрических систем, предназначенных для эксплуатации на космических аппаратах, крайне важно провести всесторонние исследования. Эти исследования должны учитывать специфику космической среды для определения как механических, так и оптических параметров конструкции, а также выбора типа фотоэлементов.

Информация о работе и требованиях CPV в космических условиях становится более доступной благодаря анализу исследований CPV, испытанных в космосе. В рамках данного исследования рассмотрены результаты 9 в космической среде. Из них только SCARLET-II, установленный на спутнике Deep Space 1, продемонстрировал успех.

Анализ 8 других случаев, показавших неудачу при космических испытаниях, продемонстрировал общий уровень неудач в  $\approx 89\%$ . Основные причины подобных результатов связаны с недооценкой воздействия вакуума и космической радиации, ошибками в механической конструкции, включая разработку системы отслеживания, а также ошибками в оптической конструкции, связанными с процессом нанесения покрытий и выбором материалов. Деградация оптических компонентов из-за воздействия космической среды стала причиной 6 из этих неудач, что составляет  $\approx 67\%$  от общего числа рассмотренных случаев.

Основное преимущество применения CPV в космических миссиях заключается в возможности создания более экономичной альтернативы традиционным плоским солнечным панелям за счет сокращения количества дорогостоящих фотоэлементов. Однако, для эффективной работы CPV систем необходима разработка не менее эффективной системы охлаждения. Для контроля высоких температур, возникающих при интенсивной концентрации солнечного света, требуются разработки сложных технологических решений.

Кроме того, для успешного применения CPV в космосе крайне важно разработать конструкцию, которая была бы легкой, но при этом устойчивой к механическим нагрузкам, возникающим в процессе запуска и длительной эксплуатации на орбите. Случаи неудачного использования CPV, где механические факторы были недооценены, подчеркивают важность тщательного проектирования и учета всех потенциальных рисков.

Испытания CPV в условиях орбитальных тепловых циклов, согласно проведенным исследованиям, показывают их устойчивость к экстремальным температурным колебаниям. Важно также защитить оптические компоненты и фотоэлементы от воздействия солнечной радиации и космических частиц, используя защитные покрытия из материалов, соответствующих требованиям космической отрасли. Оптические характеристики защитных покрытий должны быть согласованы с рабочими длинами волн фотоэлементов. Материалы для CPV и других спутниковых компонентов должны быть выбраны с учетом предотвращения выделения газов в вакууме, чтобы избежать формирования загрязняющего слоя.

Изучение применения CPV в космической среде показывает, что поведение систем, протестированных в космосе, отличается от ожидаемого на основе наземных лабораторных испытаний. Это может быть связано с вариациями солнечной активности и одновременным воздействием всех факторов космической среды. Согласно стандартам ECSS, большинство эксплуатируемых CPV, за исключением SCARLET-II, не оправдали ожиданий. Таким образом, можно сделать вывод, технология концентрирующих фотоэлектрических систем определенно имеет потенциал, но нуждается в дополнительных изучении и проработке.

#### Список использованных источников

1. Ö.F. Keser, B. Idare Designing anti-reflective microlens arrays for space solar cells // *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*. 2019 №200. P.10–19.
2. National Renewable Energy Laboratory, Best Research-Cell Efficiency Chart (2019) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.nrel.gov/>.
3. Ö.F. Keser, A. Yeniso, B. İdare Development of Space Qualified Microlens Arrays for Solar Cells Used on Satellite Power Systems *Sak. Univ. J. Sci.* 2017 №21. P.627–635.
4. Козин И.Д., Федулина И.Н. Космическая погода и её влияние на распространение радиоволн: учебное пособие. – Алматы: АУЭС, 2012, 80 с.
5. D.M. Harland, R. Lorenz Space systems failures: disasters and rescues of satellites, rockets and space probes. – Berlin : Springer, cop. 2005. – 368 p.
6. NASA Technical Reports Server, SCARLET Solar Array Delivered for METEOR Mission, Natl. Aeronaut. Sp. Adm. (2017) [Электронный ресурс]. – URL: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20050177149>.
7. N. National Aeronautics and Space Administration, STEX, (2017) [Электронный ресурс]. – URL: <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1998-055A>.
8. Earth Observation Portal, DS1 (Deep Space 1), ESA. (2017) [Электронный ресурс]. – URL: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/d/deep-space-1>.
9. E.L. Ralph, K. Steele, N. Beze, O. Buitrago, R. Garnica, J. Hanley, V. Tovar G-STAR space solar array design // *Conf. Rec. Twenty-Eighth IEEE Photovolt. Spec. Conf. (Cat. No. 00CH37036)*, IEEE, 2000. P.1131–1134.
10. L.J. Freeman, C.C. Rudder, P. Thomas MightySat II: On-Orbit Lab Bench for Air Force Research Laboratory // *Proceedings of the 14th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, SSC00-I-2*. 2000. 20 p.
11. V. Ruelle, L. Rossi, T. Thibert, K. Fleury, F. Rabecki, F. Denis, A. Carapelle, J.-H. Lecat, S. Habraken, J.-P. Collette Low concentration solar array experiment on-board proba-2 // *Proceedings of the 8th Space Power Conference*. 2008.
12. P.P. Jenkins, D.C. Bentz, J. Barnds, C.R. Binz, S.R. Messenger, J.H. Warner, M.J. Krasowski, N.F. Prokop, D.C. Spina, M. O'Neill Initial results from the TacSat-4 solar cell experiment // *2013 IEEE 39th Photovolt. Spec. Conf.*, IEEE. 2013. P.3108–3111.
13. Тестоедов Н.А., Кочура С.Г., Максимов И.А. Система мониторинга уровней воздействия космической среды на космические аппараты разработки АО «Информационные спутниковые системы» // *Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева*, Т. 16, №4, 2015, С. 849–856.

14. Надирадзе А.Б., Шапошников В.В., Хартов В.В. Моделирование процессов формирования СВА и загрязнения поверхности КА. – М.: Университет, 2007, 20 с.

УДК 629.78

## СОЗДАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ БАЗЫ НА СПУТНИКЕ ЮПИТЕРА – ЕВРОПЕ

**Шайманова Лаура Асылбековна**

*[laurushm05@gmail.com](mailto:laurushm05@gmail.com)*

Студент механико- математического факультета ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан  
Научный руководитель- Дюсенгалиева А.А

### **Аннотация**

В моем проекте рассматривается потенциальная модель подледной базы на спутнике Юпитера. Для ее создания, я провела ряд исследовательских работ: рассчитав ближайшее расстояние между Юпитером и Землей с помощью программы «Solar score program», я определила примерную дату полета на Европу; изучила ранее полученные данные с космических кораблей; разработала модель базы, изучив физические свойства Европы и учитывая опасные для человеческой жизни факторы. На основе этих данных, космическая база будет иметь шесть куполообразных блоков, состоящих из трех зон: жилой, технической и исследовательской. База будет представлять замкнутый цикл, в которой все три зоны будут взаимосвязаны и работать функционально.

Наша планета является кладезем многих ресурсов, необходимых для человеческого проживания. Но они не вечны. Дефицит природных ресурсов резко обострился ещё в XX веке, в связи с мощным ростом потребления практически всех природных богатств – полезных ископаемых, земель для сельского хозяйства, леса, воды, воздуха. На данный момент перед человечеством стоит проблема нехватки не возобновляемых ресурсов, так как мировая экономика выстроена, главным образом, на использовании минерального сырья. Достаточно сказать, что при данных объемах потребления, запасов углеводородного топлива человечеству хватит на несколько десятилетий, т.е. ещё на 1-2 поколения землян.

Отдельно стоит рассмотреть демографический взрыв в развивающихся странах. Если сохранятся существующие тенденции, то не помогут самые решительные меры, и регулятором численности людей выступит голод.

Весьма существенно то, что динамика нарастания глобальных проблем явно стоит на шаг впереди, чем предпринимаемые меры. К тому же многие из предпринимаемых мер неэффективны. Между тем с ростом населения увеличивается потребность в питьевой воде и продуктах питания, для производства которых также нужна пресная вода. По прогнозам экспертов ООН к 2050 г. глобальное водопотребление коснется почти 90% мировых ресурсов пресной воды.

К тому же Земля расположена вблизи с местами столкновения астероидов и комет, которые разрушают озоновые слои атмосферы, загрязняют окружающую среду и вполне возможно могут быть причиной катастрофы планетарного масштаба.

В ближайшее время наша планета может стать непригодной для жизни человека из-за истощения ресурсов, изменений климата, перенаселения. Для решения этой проблемы учеными предлагаются разные решения, в том числе возможность колонизации других планет. Из всех небесных тел, находящихся в солнечной системе, спутник планеты Юпитера Европа считается одной из наиболее пригодных для жизни из-за находящихся на нем водных ресурсов, специфики его физических характеристик.

Одним из путей решения данной проблемы является широкомасштабная колонизация космоса, которая в сочетании с некоторыми ограничениями потребления и экологической культурой способна радикально решить проблемы человечества и обеспечить его будущее.