

## Гибридные космические электростанции с лазерным излучением в качестве элементов энергетической системы

*Ш. Менян<sup>1</sup>, Е.Р. Кожанова<sup>2</sup>, В.М. Мельников<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>Московский государственный строительный университет, Москва*

*<sup>2</sup>Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,  
Саратов*

*<sup>3</sup>Российский университет дружбы народов, Москва*

**Аннотация:** Гибридные космические солнечные электростанции с лазерным излучением, использующие неиссякаемую энергию Солнца, обеспечивают экологически чистую энергию, «зелёную», а также развитие космической солнечной энергетики, что является перспективным и актуальным направлением развития энергетической системы в космосе (обеспечения электроэнергией космической техники) и в земной энергетической системе. Внедрение беспроводной передачи энергии в виде лазерного излучения позволяет сконцентрировать наведение лазерного пучка безопасно и с наименьшими потерями, полупроводниковым лазером в диапазоне 0,55–0,75 мкм или 1,0–1,1 мкм окон прозрачности атмосферы (1 этап) с последующей разработкой эффективных волоконных лазеров с солнечной накачкой на той же длине волн (2 этап). Три варианта процесса передачи солнечной энергии от Солнца до пользователя в гибридных космических солнечных электростанциях позволяют обеспечить электроэнергией малоосвоенные и труднодоступные регионы, где отсутствуют кабельные сети передачи электроэнергии (районы Крайнего Севера России, Центральной Сибири, Канады, Гренландии, Арктики и Антарктиды, горные районы, пустыни, места стихийных бедствий, катастроф и континентального шельфа), а также мобильный передвижной транспорт и системы «smart grid».

**Ключевые слова:** экологически чистая энергия, зелёная энергия, экологическая безопасность, лазерное излучение, космическая солнечная электростанция, гибридные, «smart grid».

### 1. Введение

Непрерывно возрастающие энергетические потребности человечества, требуют поиск различных источников энергии в противовес традиционным источникам энергии (теплоэлектростанция, атомная электростанция, крупные гидроэлектростанции), которые наносят ущерб окружающей среде, ведут к глобальному изменению климата и природным катаклизмам. Решением проблемы экологического энергообеспечения является развитие альтернативных энергетик, основанных на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ), таких, как солнце, ветер, вода (кроме крупных гидроэлектростанций), геотермальные источники: биотопливо, энергия которая считается неисчерпаемой, обеспечивающей экологическую

безопасность и энергонезависимость. ВИЭ дополняют и/или заменяют традиционные источники энергии.

Это проблема объемная и актуальная. Она изучена учеными из разных стран, таких, как Япония, Великобритания, Соединенные Штаты, Канада, Китай. Но не все вопросы рассмотрены. Как видно, мы находимся на начальном пути. Данная работа требует более широкого исследования, чтобы понять это направление [1-3].

Устойчивое развитие систем беспроводной передачи энергии способно минимизировать воздействие на окружающую среду, и кардинальным образом повлиять на определяющие стороны жизни всего человечества. Это трансляция экологически чистой энергии без токсичной химии и радиации, высокоточная система наведения лазерного луча из космоса на наземную ректену, энергообеспечение, энергетическая и экологическая безопасность, обороноспособность, «зелёная» технология, информатизация [4-5]. Влияние такой технологии на международное и социально-экономическое положение в мире сложно переоценить.

В настоящее время солнечную энергетику принято делить на наземную и космическую.

В состав космических солнечных электростанций (КСЭС) входят:

- 1) космическая платформа для сбора и преобразования солнечной энергии в электрическую;
- 2) канал преобразования электрической энергии в микроволновую или лазерную энергию и ее передача на Землю;
- 3) сеть наземных пунктов приема микроволновой или лазерной энергии с последующим преобразованием в электрическую, которая может накапливаться и обмениваться между собой электроэнергией [6-7].

## **2. Преимущество космической электростанции с лазерным излучением**

Главными проблемами современности является стабилизация климата и замещение нефти природоохранными технологиями. Космическая техника способна решить обе эти проблемы одновременно путём создания гибридных космических солнечных электростанций (КСЭС), транслирующих энергию на Землю, обеспечив природные энергетические ресурсы.

КСЭС лишены недостатков наземных солнечных электростанций (СЭС) [7-9]: энергия доступна практически круглосуточно и не зависит от погодных условий; энергия может быть передана практически в любой район поверхности, включая северные территории, что делает их применение актуальным; не расходуются полезные ископаемые Земли (уголь, газ, нефть и другое); отсутствие проблем, связанных с выбросом углекислого газа,  $\text{CO}_2$ , или других выбросов веществ, загрязняющие атмосферу; с захоронением радиоактивных и/или переработанных отходов, что оказывает влияние на климат; наземные приемные пункты могут располагаться на крышах или водных платформах, что позволяет эффективно использовать площади и лазерный (или микроволновый) пучок легко перебрасывается от одного приемного наземного пункта на другой, обеспечивая оперативное переключение удаленных потребителей.

Существенные успехи в разработке современных лазеров в последние десятилетия привлекло внимание разработчиков КСЭС, что породило появление лазерной концепции КСЭС, основанной на особенности лазерного излучения[6-8].

## **3. Схему процесса передачи солнечной энергии от Солнца**

В перспективе создания космических солнечных электростанций возможно локальное просветление атмосферы относительно простыми

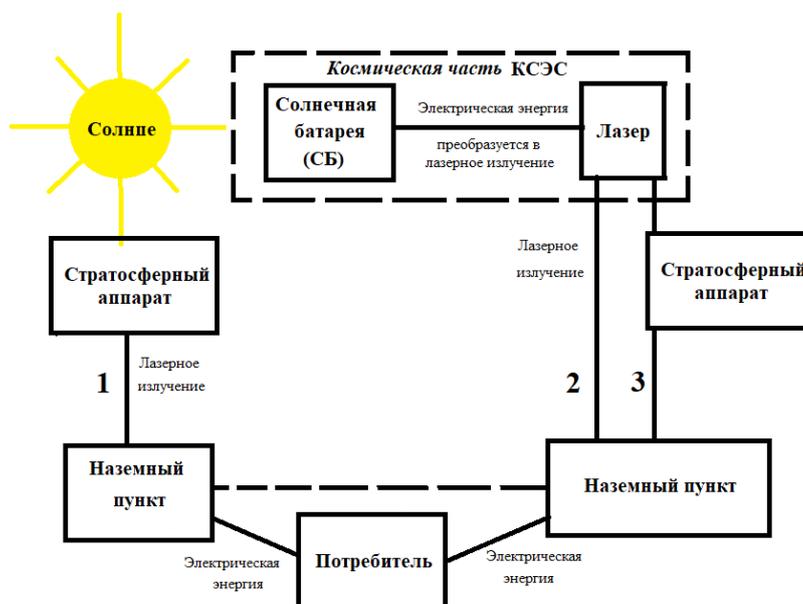
---

методами, что много проще и дешевле создания отрасли аэростатостроения для приёма лазерного луча выше облачности.

Принципиально возможно использование методов локального просветления атмосферы в сильную облачность, грозу, снег. Широко известен метод разгона облаков над Москвой во время крупных праздников путём распыления химических реагентов выше облачности. Однако этот метод использует авиация, относительно дорог и скорее всего для использования в приложении к КСЭС неприменим.

Экспериментальные данные в целом соответствуют приводимому механизму. Однако получение локальных параметров плазмы, как это делается в наземных экспериментах в вакуумных камерах на плазменных двигателях или плазматронах затруднено, так как высотные измерения (1-10 км) проблематичны.

Рассмотрим схему процесса передачи солнечной энергии от Солнца до конечного пользователя в гибридных КСЭС (Рис.1)



**Рис. 1.** Схема процесса передачи солнечной энергии от Солнца до конечного пользователя в гибридных КСЭС

В начальных версиях системы передачи энергии на Землю предлагали использовать привязные аэростаты для исключения потери вызванных непрозрачностью атмосферы, но из-за недостатков [10] от данной идеи отказались, и стали рассматривать концепцию непосредственного приёма солнечной энергии, и трансляции её на Землю работающих в окнах прозрачности атмосферы.

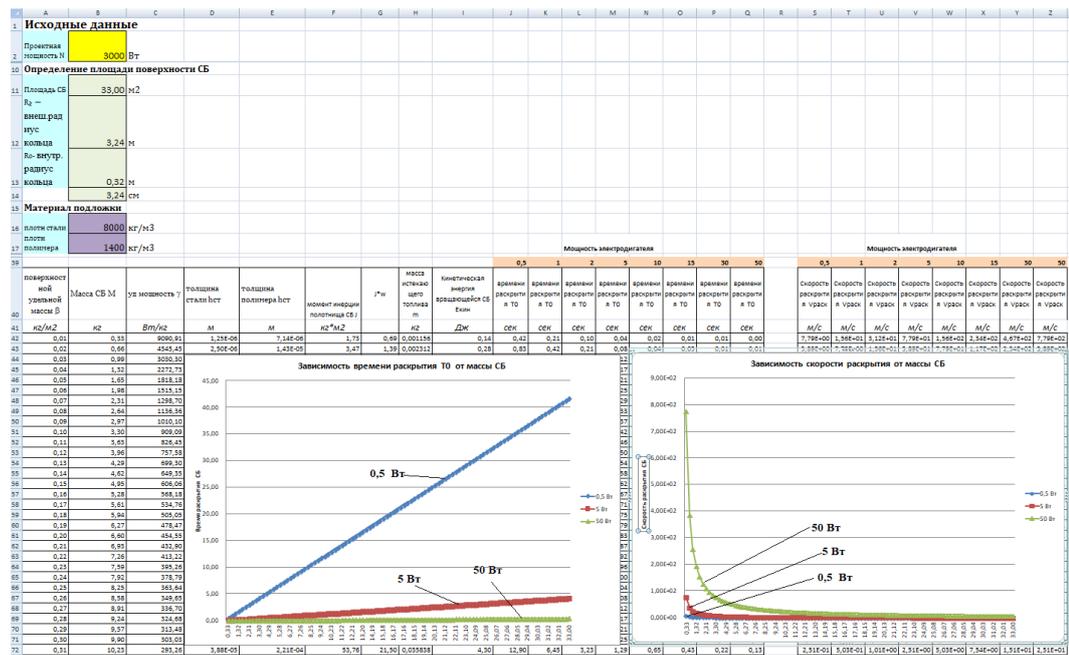
Таким образом, все три варианта передачи лазерного излучения на наземный пункт позволяют унифицировать процесс приёма данного излучения. Объединение наземных пунктов реализованных от многоэтажных стен до плавающих платформ, в сеть с разработкой автоматизированной системы управления, и её интегрирование в другие энергетические системы позволит интегрироваться гибридным КСЭС в общую энергетическую систему.

### **3.1. Возможность проектирования лазера КСЭС**

При проектировании лазера КСЭС необходимо учитывать проектную мощность солнечной батареи (СБ), которая влияет на её массогабаритные характеристики, и на энергию раскрытия СБ, время раскрытия СБ, момент инерции и кинетический момент, что являются важным показателем для работы СБ в космосе. Для автоматизации оценочного расчета СБ использован MS Excel, реализующий расчет [8-9] без вывода результатов проверок (рис.2).

Графики зависимости времени раскрытия и скорости раскрытия СБ от её массы, которая зависит от проектной мощности  $N$ , показывают, что, чем мощнее электродвигатель, тем меньше времени на раскрытие СБ за счет увеличения скорости раскрытия СБ при одинаковых массогабаритных размерах СБ. Данный оценочный расчет может быть полезен на первоначальных стадиях проектирования для автоматизации расчета СБ.

---



**Рис. 2.** Результаты расчета в MS Excel основных характеристик СБ при проектируемой мощности  $N = 3000$  Вт

### Заключение

Применение и внедрение гибридных КСЭС в энергетические системы, в том числе и в smart grid, позволит более эффективно использовать космическую солнечную энергетику не только в космосе для обеспечения полетов, но и для развития земной энергетической системы. Особенно это актуально для малоосвоенных и труднодоступных регионов, где отсутствуют кабельные сети передачи электроэнергии (районы Крайнего Севера России, Центральной Сибири, Канады, Гренландии, Арктики и Антарктиды, горные районы, пустыни, места стихийных бедствий, катастроф и континентального шельфа, имеющие экстремальный климат в виде тайги, тундры с болотами и вечной мерзлотой), а также для мобильного передвижного электротранспорта и систем «smart grid».

При разработке проекта создания космических электрических станций, необходимо привлечь ученых-физиков и математиков, которые смогут рассчитать энергию луча, направленного на землю и оценить его последствия



на окружающую среду. Может быть, вместо одного луча будет поток лучей в различные точки поверхности земли, в том числе, и для поставки электроэнергии различным крупным потребителям. Как мы видим, задача это комплексная, поэтому безусловно требуется глубокое исследование. И в дальнейшем нужно подключать специалистов разных областей: экологии, химии, математики, и других. Следовательно, гибридные космические солнечные электростанции могут стать элементами энергетических систем, как дополнение к имеющимся или как самостоятельные системы для построения распределённой энергетической системы, и могут полностью обеспечить энергетическую безопасность, и надёжное энергоснабжение в удалённых и труднодоступных территориях (районы Крайнего Севера России, Центральной Сибири, Канады, Гренландии, Арктики и Антарктиды, горные районы, пустыни, места стихийных бедствий, катастроф и континентального шельфа). Важность развития новых энергетических направлений на базе технологий космической энергетики в мире, помимо большого энергетического, экономического, экологического эффекта связана с дальнейшим развитием высокого технологического и индустриального уровня стран мира, созданием новых рабочих мест, подъемом образовательного и интеллектуального уровня населения.

Сегодняшняя энергетическая ситуация из-за санкций неблагоприятна, как никогда. В энергии нуждаются не только Крайний Север и сельские северные районы, но особенно все европейские страны, которые перестали получать газ. И неизвестно, что эти страны будут делать зимой. А если бы существовали такие космические солнечные электростанции, они бы решили многие энергетические проблемы, возникшие в мире.

В период санкций и энергетического кризиса в мире такие системы могли бы оказать большое влияние на энергетический баланс, и улучшить глобальную энергетическую ситуацию.

---

## Литература

1. Radulovic J. A Solar Power Station in Space? Here's how it would work and the benefits it could bring. URL: [theconversation.com/a-solar-power-station-in-space-heres-how-it-would-work-and-the-benefits-it-could-bring-179344/](http://theconversation.com/a-solar-power-station-in-space-heres-how-it-would-work-and-the-benefits-it-could-bring-179344/).
2. Hughes A.J., Soldini S. Solar Power Stations in Space could be the answer to our energy needs. URL: [theconversation.com/solar-power-stations-in-space-could-be-the-answer-to-our-energy-needs-150007/](http://theconversation.com/solar-power-stations-in-space-could-be-the-answer-to-our-energy-needs-150007/).
3. Xinbin H., Meng L., Lili N., Lu Z., Ying C., Zhengai C., Haipeng J. Multi-Rotary Joints Space Power Satellite. URL: [ohioopen.library.ohio.edu/spacejournal/vol11/iss18/4/](http://ohioopen.library.ohio.edu/spacejournal/vol11/iss18/4/).
4. Сысоев В.К., Пичхадзе К.М., Фельдман Л.И., Арапов Е.А., Лузянин А.С. Концепция разработки космической солнечной электростанции // Вестник «НПО им. С.А. Лавочкина». – 2011. – № 2. – С. 14–19.
5. Грачёв И.Д., Сигов А.С., Редько И.Я., Матюхин В.Ф., Мельников В.М. Распределённая энергетика и солнечные космические лазерные электростанции // СОК. 2016. № 3. С. 76–78.
6. Мельников В.М., Бруевич В.В., Паращук Д.Ю., Харлов Б.Н. Волоконные лазеры с солнечной накачкой, формируемые центробежными силами, как новое направление в создании космических информационно - энергетических систем // Космонавтика и ракетостроение. 2014. № 6. С. 104–112.
7. Сигов А.С., Матюхин В.Ф., Редько И.Я. Концепция поэтапного развития распределённой энергетики с использованием космических солнечных электростанций // СОК. 2016 № 10. С. 66–73.
8. Райкунов Г.Г., Комков В.А., Сысоев В.К., Мельников В.М. Космические солнечные электростанции – проблемы и перспективы // М: РУДН, 2017. 283 с.



9. Райкунов Г.Г., Комков В.А., Мельников В.М., Харлов Б.Н. Центробежные бескаркасные крупногабаритные космические конструкции // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 447 с.
10. Glaser PE. Power from the sun: its future. URL: [science.org/doi/10.1126/science.162.3856.857/](https://science.org/doi/10.1126/science.162.3856.857/).

### References

1. Radulovic J. A Solar Power Station in Space? Here's how it would work and the benefits it could bring. URL: [theconversation.com/a-solar-power-station-in-space-heres-how-it-would-work-and-the-benefits-it-could-bring-179344/](https://theconversation.com/a-solar-power-station-in-space-heres-how-it-would-work-and-the-benefits-it-could-bring-179344/).
2. Hughes A.J., Soldini S. Solar Power Stations in Space could be the answer to our energy needs. URL: [theconversation.com/solar-power-stations-in-space-could-be-the-answer-to-our-energy-needs-150007/](https://theconversation.com/solar-power-stations-in-space-could-be-the-answer-to-our-energy-needs-150007/).
3. Xinbin H., Meng L., Lili N., Lu Z., Ying C., Zhengai C., Haipeng J. Multi-Rotary Joints Space Power Satellite. URL: [ohioopen.library.ohio.edu/spacejournal/vol11/iss18/4/](https://ohioopen.library.ohio.edu/spacejournal/vol11/iss18/4/).
4. Sysoev V.K., Pichkhadze K.M., Feldman L.I., Arapov E.A., Luzyanin A.S. Vestnik «NPO im. S.A. Lavochkina». 2011, № 2, pp. 14-19.
5. Grachev I.D., Sigov A.S., Redko I.Y., Matyukhin V.F., Melnikov V.M. SOK, 2016, № 3, pp. 76-78.
6. Melnikov V.M., Bruevich V.V., Parashchuk D.Yu., Kharlov B.N. Kosmonavtika i raketostroenie. 2014, № 6, pp. 104-112.
7. Sigov A.S., Matyukhin V.F., Redko I.Y. SOK, 2016, № 10, pp. 66-73.
8. Raikunov G.G., Komkov V.A., Sysoev V.K., Melnikov V.M. Kosmicheskie solnechnye elektrostancii. Problemy i perspektivy [Space solar power stations. Problems and prospects]. Moskva, 2017. 283 p.



9. Raikunov G.G., Komkov V.A., Melnikov V.M., Kharlov B.N. Centrobezhnye beskarkasnye krupnogabaritnye kosmicheskie konstrukcii [Centrifugal frameless large-sized space structures]. Moskva, 2009, 447 p.
10. Glaser PE. Power from the sun: its future. URL: [science.org/doi/10.1126/science.162.3856.857/](https://science.org/doi/10.1126/science.162.3856.857/).