

5. Акалу, Й.А. Методы моделирования движения тросовых систем / Й.А. Акалу, Д.В. Еленев // Наука и бизнес: Пути развития. – 2023. – № 4 (142).

УДК 629.78

Веиси С., Любимов В.В.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДИСТАНЦИОННОЙ ПОДЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРА ПАССИВНОГО СПУТНИКА ПОСРЕДСТВОМ СВЕТОВОЙ СИСТЕМЫ МАНЕВРЕННОГО СПУТНИКА

Введение. В контексте космической активности человечества, передача энергии между объектами в космосе становится критической необходимостью [1]. Светодиоды, обеспечивающие интенсивное освещение с высокой эффективностью, становятся предпочтительными в системах передачи энергии [2]. Эффективность передающих свет устройств зависит от дизайна и конфигурации системы [3], требуя дополнительных исследований. Передача энергии с помощью света в космическом пространстве, особенно в области солнечной энергетики, представляет значительный интерес [4].

В этой работе сравниваются две конфигурации светопередающих систем с целью оптимизировать сбор световой энергии на солнечных панелях спутников. Исходный свет идёт от 20000-люменной светодиодной лампы, отражатели покрыты нано частицами серебра для улучшения отражения [5, 6]. Метод трассировки лучей применяется для отслеживания света от лампы до панели, численные методы и генетический алгоритм используются для оптимизации параметров [9–11]. Анализируются две конфигурации:

симметричный отражатель с возможной блокировкой лучей и асимметричный отражатель с дополнительным симметричным отражателем вокруг лампы для исключения блокировки. Сравнивая эти конфигурации, определяем оптимальную конфигурацию для максимизации светового потока, передаваемого на солнечные панели.

Алгоритм моделирования

Симметричная конфигурация

Процедуры генерации и отражения лучей в математической модели включают следующие этапы:

1. Углы азимута и элевации генерируются и преобразуются в декартовы координаты следующим образом: моделирование углов азимута осуществляется через использование обратной функции кумулятивного распределения (CDF) гауссовского распределения интенсивности. Углы элевации, согласно предположению о равномерности светового излучения светодиода в горизонтальной плоскости, генерируются равномерно в пределах интервала. Завершающий этап включает преобразование сгенерированных углов в декартовы координаты.

2. Определение точек пересечения лучей с отражателем: Этот процесс подразумевает решение системы нелинейного уравнения (1), описывающего геометрию параболического отражателя.

$$f(t) = (l_y + td_y - v_y)^2 + (l_z + td_z - v_z)^2 - 4p(l_x + td_x - v_x) = 0, \quad (1)$$

где v_x, v_y, v_z – координаты вершины параболы, p – фокусное расстояние от вершины до фокуса параболы, l – вектор позиции светодиода, d – вектор направления луча и t – переменный, который надо находить.

3. Вычисление векторов нормали к отражателю: Нормали к параболическому отражателю на пересечении с лучами, исходящими от светодиода, вычисляются по уравнению (2):

$$\mathbf{N} = \left(1, -\frac{y-v_y}{2p}, -\frac{z-v_z}{2p}\right), \quad (2)$$

где v_y, v_z – координаты вершины параболы, p – фокусное расстояние от вершины до фокуса параболы.

4. Определение направления отражённых лучей: затем на основе этих векторов нормали и направлений исходных лучей определяются направления отражённых лучей с использованием закона отражения (3).

$$\mathbf{R} = \mathbf{I} - 2(\mathbf{I} \cdot \mathbf{N})\mathbf{N}, \quad (3)$$

где $\mathbf{I} = \mathbf{r} - \mathbf{l}$ – вектор происшестввия, \mathbf{r} – вектор позиции точки пересечения, \mathbf{N} – нормальный вектор, \mathbf{R} – вектор отражённого луча.

5. Вычисление точек пересечения отражённых лучей с панелью: Позиции пересечения с панелью определяются из уравнения прямой луча:

$$\mathbf{r}_p = \mathbf{r} + t(\mathbf{R}), \quad (4)$$

где t – параметр, который определяется как $\frac{(d_p - x)}{R_x}$, d_p – расстояние от панели до вершины параболы, x и R_x – x -координата точки пересечения с отражателем и x -координата вектора отражённого луча соответственно.

6. Проверка принадлежности точек пересечения границам панели и исключение тех лучей, которые оказались заблокированы светодиодом. В результате этого процесса формируется набор точек пересечения с панелью, удовлетворяющих двум основным условиям: они расположены в пределах панели и при этом не подвергаются блокировке со стороны светодиода.

7. Расчёт интенсивности света на панели. Определяется интенсивность каждого луча, достигающего панели, используя соответ-

ствующую формулу распределения интенсивности (5) для заданных углов азимута.

$$I(\theta) = I_{max} \exp\left(-\frac{\theta^2}{2\sigma^2}\right), \quad (5)$$

где I_{max} – максимальная интенсивность света, θ – угол азимута, σ – стандартное отклонение гауссовского распределения, которое определяет разброс интенсивности вокруг максимального значения.

Общая интенсивность рассчитывается как сумма интенсивностей всех лучей, достигающих панели. Далее, поделив общую интенсивность на общее количество лучей, определяем среднюю интенсивность $I_{average}$. Наконец, конечная интенсивность на панели I_{panel} определяется умножением средней интенсивности на коэффициент отражения ρ отражателя по уравнению (6).

$$I_{panel} = I_{average} \cdot \rho. \quad (6)$$

Асимметричная конфигурация

При анализе асимметричной конфигурации, процедуры от 2 до 4 повторяются два раза: один раз для симметричного отражателя, размещенного вокруг светодиодной лампы, и второй раз – для асимметричного отражателя. В случае симметричного отражателя, его форма определяется уравнением (7),

$$\begin{aligned} (y-v_y)^2 + [(z-v_z)\cos\beta + (x-v_x)\sin\beta]^2 = \\ = 4p[(x-v_x)\cos\beta - (z-v_z)\sin\beta], \end{aligned} \quad (7)$$

где β – угол между осью симметрии симметричного отражателя и осью симметрии асимметричного отражателя.

Нормальные векторы вычисляются на основе соотношения (8).

$$\begin{aligned}
 N = [& 2 \sin^2 \beta (x - v_x) + 2 \sin \beta \cos \beta (z - v_z) - 4p \cos \beta, \\
 & 2(y - v_y), \\
 & 2 \cos^2 \beta (z - v_z) + 2 \sin \beta \cos \beta (x - v_x) + 4p \sin \beta]
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Оптимизация системы с симметричным отражателем.

В качестве метода оптимизации для данной задачи выбран генетический алгоритм. В контексте нашей задачи на вход алгоритму подаются три параметра: фокусное расстояние параболического отражателя, положение светодиодной лампы относительно оси симметрии отражателя и расстояние от вершины отражателя до солнечной панели. Целью этого процесса оптимизации является максимизация числа лучей, достигающих солнечной панели.

Результаты

Симметричная конфигурация

Проведены два оптимизационных эксперимента с использованием генетического алгоритма, соответственно, с популяциями размером 50 и 100, для достижения максимальной интенсивности света на солнечной панели. На рисунке 1 показаны численные результаты, определения величины максимальной интенсивности и оптимальных значений параметров.

Наилучший результат в 9000 люмен был достигнут с конфигурацией, включающей серебряный отражатель, светодиод с радиусом 0.5 м и гауссовским распределением интенсивности, и солнечную панель размером 3 на 4 метра.

Дальнейшие попытки оптимизации не улучшили результаты, подчёркивающие стабильность полученной конфигурации. Рисунок 2 иллюстрирует результаты моделирования отражения лучей с использованием оптимальных параметров: красные векторы представляют лучи от светодиода до точек пересечения (зелёные), а синие векторы – отражённые лучи.

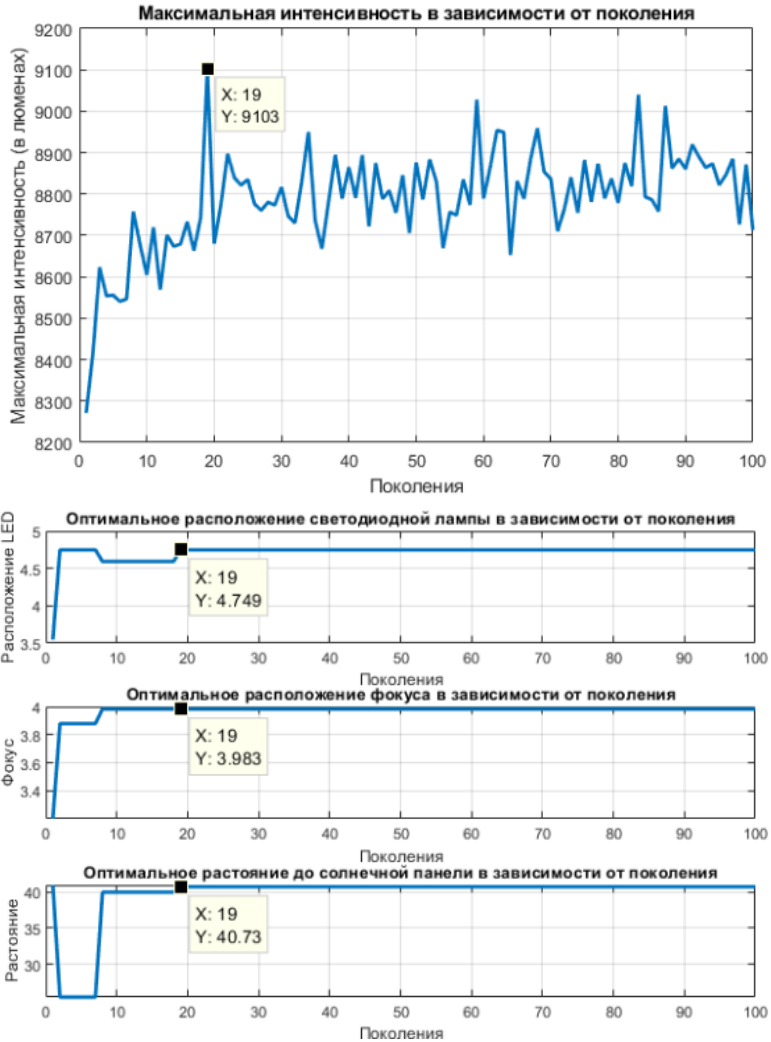


Рис. 1. Максимальная интенсивность и оптимальные значения параметров на каждом поколении. Количество лучей – 1000, количество поколений – 100, размер популяции – 50

Точки пересечения и отраженные лучи от круглого параболического отражателя

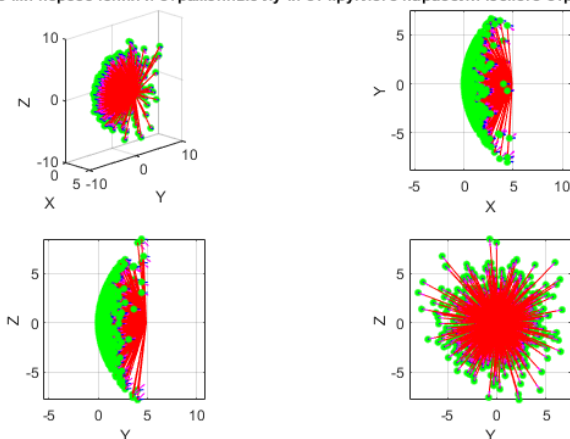


Рис. 2. Схема сгенерированных и отражённых лучей от поверхности параболического отражателя

Закключение. В рамках данного исследования были успешно смоделированы и оптимизированы световая система для максимизации эффективности передачи света, использующая как симметричные, так и асимметричные отражатели с источником света в виде светодиодной лампой мощностью 20 000 люмен. Генетический алгоритм был внедрён для настройки критических параметров, включая положения отражателя и лампы. Результаты продемонстрировали увеличение интенсивности света на 500 люмен при переходе от симметричной (9000 люмен) к асимметричной системе (9500 люмен), подчёркивая преимущества последней в области солнечной энергетики.

Библиографический список

1. Смирнов, А.А. Исследование передачи энергии на основе света в космическом пространстве / А.А. Смирнов, И.В. Петров // Космические исследования. – 2019.

2. Кузнецов, С.В. Использование светодиодов в системах передачи энергии / С.В. Кузнецов, В.Е. Сидоров // Технологии освещения. – 2021.

3. Johnson, N. Light-Based Energy Transmission for Space Applications / N. Johnson // Journal of Space Exploration. – 2020.

4. Miller, D. Efficiency of LED-Based Systems for Space-Based Solar Power / D. Miller, H. Jackson, // Advances in Space Research. – 2021.

5. IMALENT MS18 brightest flashlight // IMALENT URL: <https://www.imalentstore.com/products/imalent-ms18-100000-lumen-flashlight> (дата обращения: 18 октября 2022).

6. Schmid, M. Plasmonic and photonic scattering and near fields of nanoparticles / M. Schmid, P. Andrae, P. Manley // Nanoscale research letters. – 2014. – С. 1–11.

7. Durgin, G.D. The practical behavior of various edge-diffraction formulas / G.D Durgin // IEEE Antennas and Propagation Magazine. – 2009. – №51(3). – С. 24–35.

8. Nikulin, E. Edge diffraction, plasmon launching, and universal absorption enhancement in two-dimensional junctions / E. Nikulin, D. Mylnikov, D. Bandurin, D. Svintsov, // Physical Review. – 2021. – №103(8).

9. Ray Tracing and Its Applications in Solar Concentrators. (2019). In: Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems. Eindhoven University of Technology.

10. Chu, Y., & Wu, F. (2019). Solar photovoltaic system optimization: A literature review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 96, 276–291.

11. Yang, X. S., & Deb, S. (2020). Cuckoo search via Lévy flights. In Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC), 2009 World Congress on (pp. 210-214). IEEE.