

УДК 535.016+614.48

Численное моделирование и оптимизация светотехнических систем аппаратов импульсной ультрафиолетовой дезинфекции поверхностей для обитаемых космических объектов

Камруков Александр Семенович^(*)

kamrukov@bmstu.ru

Карначев Кирилл Леонидович

karnachev.kirill@mail.ru

Кондратьев Андрей Валерьевич

kondratyev.av@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. С использованием программы TracePro выполнены моделирование и оптимизация светотехнической системы аппарата для ультрафиолетовой дезинфекции поверхностей в условиях обитаемых космических объектов. В качестве источника излучения рассмотрена импульсная ксеноновая лампа, обладающая высоким биоцидным потенциалом. Цель проведенной оптимизации — достижение максимальной передачи энергии излучения лампы к облучаемой поверхности и максимальной однородности облученности в световом пятне.

Ключевые слова: биобезопасность, обитаемый космический объект, ультрафиолетовая дезинфекция, светотехническая система, численное моделирование

Введение. Проблема биобезопасности космических миссий является актуальной задачей. Среда обитаемых космических станций является экологической нишей для микроорганизмов, включая патогенные бактерии и микроорганизмы-технофилы [1]. Для поддержания безопасного микробиологического статуса необходимы технологии и оборудование с высокой эффективностью и широким спектром антимикробного действия.

Биоцидные технологии, разрабатываемые в МГТУ им. Н.Э. Баумана, удовлетворяют этим требованиям [2]. Они используют импульсное оптическое излучение со сплошным спектром, аналогичным солнечному, но на порядки большей интенсивностью. Такое излучение генерируется импульсными ксеноновыми лампами. Прототипы аппаратов дезинфекции поверхностей на базе этих технологий способны за секунды снижать уровень бактериального загрязнения в 10^5 – 10^6 раз [3], что открывает перспективы их применения для антимикробной обработки в условиях космических полетов.

Светотехническая система (СТС) аппаратов образована лампой и отражателем и предназначена для концентрации потока излучения лампы на объекте. Цель работы — моделирование и оптимизация СТС аппаратов УФ дезинфекции поверхностей для обитаемых космических станций.

Материалы и методы; результаты. Моделирование выполнено с использованием программы TracePro. В качестве источника излучения рассматривали ламбертовский излучатель в виде цилиндра $\varnothing 5 \times 60$ мм. Мощность излучения источника принимали равной 1 Вт. Оптимизировали конструкцию СТС с коаксиальным расположением лампы внутри отражателя. Рассмотрены

три вида отражателей: цилиндрический, конический и эллиптический. Коэффициент отражения R варьировали от 10 до 100 %. Анализировали распределения облученности на плоском экране, удаленном от облучателя на расстояния $l = 20, 50$ и 100 мм. Оптимальность геометрии отражателя определяли по трем критериям: максимальной облученности $E_{\max}$, ее равномерности ξ и коэффициенту использования энергии излучения лампы η . Наибольшей эффективностью характеризуется эллиптический отражатель: при $R = 86$ % и $l = 50$ мм $\eta \sim 9$ % при равномерности облученности $\xi \sim 53$ %. Он же обеспечивает максимальные облученности ($14,6$ Вт/см² при $l=50$ мм). Конический отражатель незначительно уступает ему: $\eta \sim 8$ %, $\xi \sim 51$ % и $13,6$ Вт/см². В целом показано, что при диффузном отражении влияние формы отражателя на характеристики полей облученности не является существенным. По результатам моделирования в качестве оптимального рекомендован конический отражатель как более технологичный.

Заключение. Полученные данные позволяют по известным спектральным характеристикам лампы определять энергетические дозы и время облучения, необходимые для дезинфекции поверхностей от различных видов микрофлоры.

Список источников

- [1] Дымова А.А., Шеф К.А., Поддубко С.В. Микробиологический фактор среды обитания. *XLVI Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства: сб. тез.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022, т. 4, с. 273–276.
- [2] Камруков А.С., Козлов Н.П., Шашковский С.Г. Высокоинтенсивные плазменно-оптические технологии для решения актуальных экологических и медико-биологических задач. *Безопасность в техносфере*, 2009, № 3, с. 31–38.
- [3] Bagrov V.V., Bukhtiyarov I.V., Volodin L.Y. A High-Intensity Optical Irradiation Device for the Treatment of Wounds and Wound Infections. *Biomedical Engineering*, 2023, vol. 57, pp. 77–80. <https://doi.org/10.1007/s10527-023-10272-0>