

## **Создание модели для расчёта распределения ультрафиолетового излучения в пространстве вокруг напольных облучателей**

Д.Е. Науменко, В.А. Левченко, А.И. Васильев.

Одно из главных применений ультрафиолетового излучения в наше время - обеззараживание помещений, в том числе различных поверхностей, в общественных местах с целью предотвращения распространения заболеваний [1], [2]. Действие ультрафиолета на микроорганизмы заключается в том, чтобы нанести им повреждения, несовместимые с дальнейшим размножением и образованием колоний, что называется инаktivацией. Для гарантированной инаktivации микроорганизмов на единице какой-либо поверхности, необходимо чтобы она за время обработки набрала заранее определённую дозу облучения. Доза, в свою очередь пропорциональна времени обработки и интенсивности излучения, приходящего на поверхность от облучателя. Вследствие наличия конструктивных особенностей облучателя, излучение, генерируемое УФ-источниками облучателя распределяться по поверхностям неравномерно: например, при наблюдении облучателя под определёнными углами вертикальные силовые элементы могут частично или полностью перекрывать часть ламп, иначе говоря, происходит затенение. В общей практике для упрощения расчёта времени обработки (экспозиции) считают, что излучение распределено равномерно по всем направлениям (в плоскости, перпендикулярной осям ламп), а УФ-мощность облучателя умножают на поправочный коэффициент 0.4, согласно руководству Р 3.5.1904-04. Такое решение не является оптимальным, так как фактически этот коэффициент (коэффициент использования бактерицидного потока) может быть, как больше, так и меньше 0.4, в зависимости от конструкции конкретного устройства. Эффект затенения ламп приводит к тому, что даже соседствующие поверхности наберут различную дозу за время экспозиции, что в случае недобора приведёт к недостаточной степени обеззараживания, а в случае перебора дозы – к преждевременной деградации материалов поверхности. Иными словами, существующая проблема неравномерного распределения светового потока от облучателей решена тривиально, но совсем не оптимально. На сегодняшний день многие коллективы предлагают свои решения этой проблемы с использованием различных современных технологий, в том числе робототехники [3], [4] и CDF-расчётов [5].

Оптимизировать распределение светового потока от УФ-приборов можно с помощью выбора компоновки облучателя, увеличив его коэффициент использования бактерицидного потока. Это позволит набирать заданную дозу быстрее - сократит время обработки помещения и поможет сэкономить электроэнергию, увеличив долю УФ-излучения, которое попадёт на заражённые поверхности. Сэкономить время и ресурсы на разработку

решения для оптимальной компоновки облучателя поможет компьютерное моделирование.

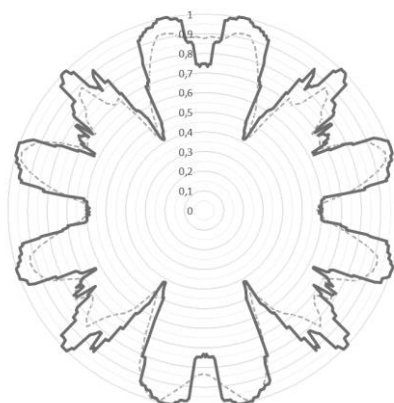


рис. 1. Пример сравнения экспериментально измеренной индикатрисы (пунктирная линия) и полученной при расчёте математической модели (сплошная линия).

В компоновке использовалось 6 ламп.

Были проведены сопутствующие эксперименты по измерению ключевых параметров газоразрядных ламп низкого давления, необходимых для составления цифровой модели объекта. В результате получены зависимости коэффициента бактерицидного потока для различных компоновок напольных облучателей. Наибольший потенциал к увеличению этого коэффициента были показаны 3- и 6-ламповыми установками.

## Литература

- [1] Костюченко С.В., Васильев А.И., Ткачев А.А., и др., «Изучение эффективности применения ультрафиолетовых бактерицидных установок (УФ-рециркуляторов) закрытого типа для обеззараживания воздушной среды помещений,» *Гигиена и санитария*, т. 100, № 11, pp. 1229-1235, 2021.
- [2] Кармазинов Ф.В., Костюченко С.В. и др. , Ультрафиолетовые технологии в современном мире, Долгопрудный: ИД "Интеллект", 2012.
- [3] Stepan Perminov, Nikita Mikhailovskiy, Alexander Sedunin, and other, «UltraBot: Autonomous Mobile Robot for Indoor UV-C Disinfection,» *17th International Conference on Automation Science and Engineering*, № 17, pp. 2147-2152, август 2021.
- [4] C. W. Haag, G. Holliday, K. Archulet, W. Tang , «Comparing UV-C dosages of emitter placement strategies in a community hospital setting,» *Infection Control & Hospital Epidemiology*, т. 44, № 9, pp. 1505-1507, 2023.
- [5] S. Jin, K.G. Linden, J. Ducoste, D. Liu, «Impact of lamp shadowing and reflection on the fluence rate distribution in a multiple low-pressure UV lamp array,» *Water Research*, т. 39, № 12, pp. 2711-2721, 2005.