

Математическая модель для расчёта бактерицидной производительности УФ рециркулятора

А.Л. ВАССЕРМАН¹, В.Г. ЮЗБАШЕВ
ФБУН «НИИ Дезинфектологии», Москва

Аннотация

В настоящее время в большинстве случаев разработка УФ бактерицидных рециркуляторов ведётся без предварительных расчётов. В статье предлагается математическая модель, которая позволяет проводить такие расчёты.

Ключевые слова: УФ излучение, бактерицидная производительность рециркулятора, бактерицидная доза, пространственная облучённость, бактерицидная эффективность рециркулятора, объёмная бактерицидная доза.

На рисунке показан принцип устройства рециркулятора с камерой в форме прямоугольного параллелепипеда. (Однако форма камеры может быть и другой, например цилиндрической – на вид выводимой ниже математической модели это не влияет.) В центре камеры располагается УФ бактерицидная лампа. Через камеру прокачивается воздух, содержащий болезнетворные микроорганизмы. Под воздействием УФ бактерицидного излучения микробные клетки гибнут в объёме камеры в первом или последующем поколениях.

¹ E-mail: alexzo@list.ru

Принятые обозначения:

- h – рабочая длина камеры, м;
- S_k – рабочая площадь поперечного сечения камеры, м²;
- V_k – рабочий объём камеры, м³.
- Φ_{δ} – бактерицидный поток лампы, Вт;
- N_l – число ламп в камере;
- $\Phi_{\delta\delta}$ – действующий бактерицидный поток, Вт;
- K_{ϕ} – экспериментальный коэффициент использования бактерицидного потока лампы, учитывающий их взаимное экранирование и самоэкранирование (часто, ориентировочно, может считаться равным 0,4);
- K_k – коэффициент многократных отражений бактерицидного потока от внутренней поверхности камеры;
- ρ_k – средний коэффициент отражения излучения на длине волны 253,7 нм;
- $J_{\delta\delta k}$ – бактерицидная эффективность (показатель снижения микробной обсеменённости воздушной среды под воздействием бактерицидного излучения), %;
- H_v – бактерицидная доза, Дж/м³ 2;

² Рассматривая процесс уничтожения бактерий на поверхности при бактерицидной облучённости E_s (Вт/м²) и, соответственно, бактерицидной дозе, необходимой для этого, H_s (Дж/м²), можно сделать

$\sigma_v = 0,0179$ м³/Дж – константа фоточувствительности санитарно-показательного микроорганизма *S. aureus* при объёмном УФ облучении [1];

t – время облучения микроорганизма в камере, с;

ω_k – скорость воздушного потока в камере, м/с;

Pr – бактерицидная производительность рециркулятора, м³/с;

μ – суммарный коэффициент местного сопротивления (степень гидравлического сопротивления), оценочно находится в пределах 1,1–1,3 [4];

$Pr(\phi)$ – производительность вентилятора рециркулятора, м³/с.

По законам фотохимической кинетики, число бактерий, уничтоженных в единице объёма за единицу времени пропорционально H_v , Дж/м³ (редуцированная величина, согласно относительной спектральной бактерицидной эффективности УФ излучения [1]).

С учётом вышеизложенного имеем следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} \Phi_{\delta\delta} &= N_l \cdot \Phi_{\delta} \cdot K_{\phi} \cdot K_o, \\ t &= H_v \cdot V_k / \Phi_{\delta\delta}, \\ V_k &= S_k \cdot h, \\ \omega_k &= h / t, \\ Pr &= \omega_k \cdot S_k, \\ Pr(\phi) &= \mu \cdot Pr \end{aligned}$$

Откуда следует:

$$\begin{aligned} Pr &= N_l \cdot \Phi_{\delta} \cdot K_{\phi} \cdot K_o \cdot 3600 / H_v, \text{ м}^3/\text{ч}; \\ Pr(\phi) &= \mu \cdot N_l \cdot \Phi_{\delta} \cdot K_{\phi} \cdot K_o \times \\ &\quad \times 3600 / H_v, \text{ м}^3/\text{ч}. \end{aligned}$$

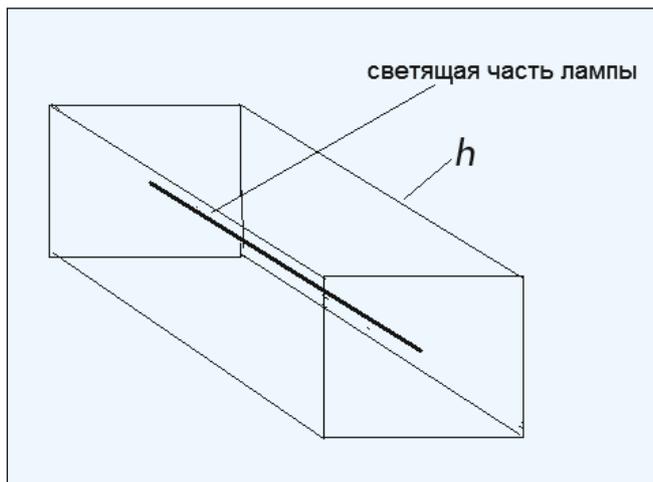
А учитывая, что, согласно [5], $H_v = -\ln(1 - J_{\delta\delta k} \cdot 10^{-2}) / \sigma_v$, Дж/м³, и

$K_o \approx 1/(1 - 0,6 \cdot \rho_k)$, другим расчётным выражением для Pr служит следующее:

$$\begin{aligned} Pr &\approx N_l \cdot \Phi_{\delta} \cdot K_{\phi} \cdot \sigma_v \times \\ &\quad \times 3600 / [(-\ln(1 - J_{\delta\delta k} \cdot 10^{-2})) \times \\ &\quad \times (1 - 0,6 \cdot \rho_k)], \text{ м}^3/\text{ч}. \end{aligned}$$

вывод, что расчёты объёмной бактерицидной дозы воздушного пространства (H_v) не могут производиться на основании формул для расчёта дозы поверхностного воздействия на микроорганизмы (H_s), и такой расчёт не адекватен процессу уничтожения микроорганизмов в воздушном объёме. В данном случае следует пользоваться пространственной облучённостью, которая пропорциональна плотности энергии излучения в единице объёма среды [2, 3].

Рисунок.
Принципиальная конструкция рециркулятора



В «НИИ Дезинфектологии» в течение многих лет проводились испытания разных типов закрытых облучателей (рециркуляторов) и расчёты их бактерицидной производительности, которые подтверждают, что расхождения между результатами эксперимента и расчёта не превышают 20%

В настоящее время авторами готовится руководство «Использование УФ бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха и поверхностей в помещениях», в которое войдёт и данная модель для расчёта *Пр.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вассерман А.Л., Шандала М.Г., Юзбашев В.Г.* Ультрафиолетовое излучение в профилактике инфекционных заболеваний. – М.: Медицина, 2003. – 204 с.

2. *Эштейн М.И.* Измерения оптического излучения в электронике. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 249 с.

3. Ультрафиолетовая технология в современном мире: Коллективная монография / Под ред. Ф.В. Карамзинова, С.В. Костюченко, Н.Н. Кудрявцева, С.В. Храменкова. – Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2012. – 391 с.

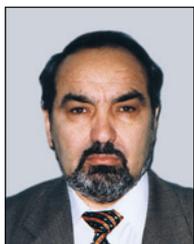
4. *Кухлинг Х.* Справочник по физике. – М.: Мир, 1982.

5. *Вассерман А.Л., Юзбашев В.Г.* Инженерный метод расчёта закрытых бактерицидных облучателей для обеззараживания воздушной среды // Светотехника. – 2008. – № 2. – С. 25–28.



**Вассерман
Александр
Львович,**

кандидат техн.
наук. Окончил в
1957 г.
электрофизический
факультет ВЗЭИ.
Пенсионер. Инвалид
ВОВ



**Юзбашев
Виктор
Григорьевич,**

кандидат мед. наук.
Окончил в 1965 г.
Ленинградский
санитарно-
гигиенический
медицинский
институт.

Ведущий специалист ФБУН «НИИ
Дезинфектологии»