

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ**

Национальный исследовательский Томский государственный университет  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
Болгарская Академия наук  
Академия инженерных наук им. А.М. Прохорова  
Международная научно-техническая организация «Лазерная ассоциация»

# **ИННОВАТИКА-2020**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ**

**XVI Международной школы-конференции студентов,  
аспирантов и молодых ученых  
23–25 апреля 2020 г.  
г. Томск, Россия**

*Под редакцией А.Н. Солдатов, С.Л. Минькова*

Scientific & Technical Translations



ИЗДАТЕЛЬСТВО

**Томск – 2020**

## ВИРУЛИЦИДНЫЕ УФС-ЭКСИЛАМПЫ КАК ПОДРЫВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Э.А. Соснин<sup>1,2</sup>, О.С. Жданова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт сильноточной электроники СО РАН

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет

<sup>3</sup>Российский национальный исследовательский медицинский университет

им. Н.И. Пирогова

badik@loi.hcei.tsc.ru

## VIRUCIDAL UVC EXCILAMPS AS A DISRUPTIVE TECHNOLOGY

E.A. Sosnin<sup>1,2</sup>, O.S. Zdanova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>High Current Electronics Institute SB RAS

<sup>2</sup>National Research Tomsk State University

<sup>3</sup>Pirogov Russian National Research Medical University

*Based on the analysis of application conditions and parameters of ultraviolet radiation sources, it is shown that UVA excilamps on KrCl\* and KrBr\* exciplex molecules have signs of disruptive technology in relation to low-pressure mercury lamps.*

*Keywords: disruptive technology, innovation, excilamp, virucidal action*

В 1997 г. Клейтон Кристенсен ввёл в инноватику теоретический концепт «подрывная инновация» [1]. Так описывается ситуация, в которой один продукт вытесняет другой, причём параметры старого продукта теряют свое значение для потребителя и отрасли. Так называемые «подрывные технологии» находят своего покупателя, если новые свойства продукта ему необходимы, пусть даже продукт и имеет свои явные недостатки (явные или воображаемые). Таким образом в своё время пароходы «подорвали» парусники, а персональные компьютеры – офисную технику (и т.д., и т.п.).

В данной статье мы рассмотрим переход от традиционных источников УФС-излучения ( $200 < \lambda < 280$ ) – ртутных ламп низкого давления (РЛНД), применяемых для бактерицидной обработки воздуха, поверхностей и вод – к новым источникам УФС-излучения. Покажем, что у последних есть все признаки подрывной технологии.

РЛНД в России появились в 1904 г. Конструкция лампы включала кварцевую трубку, наполненную парами ртути, с электродами из вольфрама. Впоследствии в колбу стали добавлять аргон, и такие лампы получили название аргоно-ртутных или бактерицидных (от «бактерия» + лат. «caedo» – убивать) [2]. Название обусловлено тем, что её спектр

содержит интенсивную атомарную линию на длине волны  $\lambda = 253.7$  нм, близкую к первому максимуму поглощения т.н. летального спектра действия излучения на бактерии. На рис. 1 показаны спектр излучения РЛНД, спектр действия излучения на культуру кишечной палочки (*Escherichia coli*) и интегральный спектр поглощения ДНК. Аналогичные зависимости имеют место и для других бактериальных культур, что сделало РЛНД высококонкурентным продуктом среди средств бактерицидной обработки.

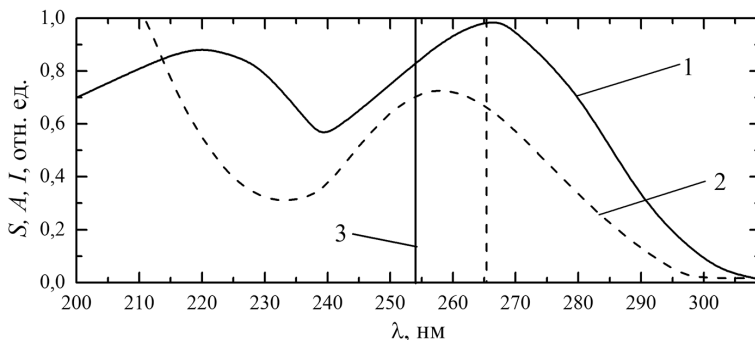


Рис. 1. Важные спектральные характеристики: 1 – спектр действия УФ-излучения на *E. coli*, 2 – интегральный спектр поглощения ДНК бактерии, 3 – атомарная линия ртути в РЛНД на  $\lambda = 254.7$  нм (адаптировано по данным [3, 4])

В последние десятилетия произошло несколько всплесков вирусных инфекций, имеющих различную этиологию. Например, вирус поражающий людей вирус SARS-COV распространился по всему миру в 2003 г. Похожее заболевание наблюдалось в Саудовской Аравии в 2012 г. Передача инфекции от одного инфицированного индивидуума к другому через загрязненные поверхности и аэрозоли имеет большое значение в пандемии COVID-19 [5]. Поэтому чрезвычайно вырос спрос на средства обеззараживания воздуха и поверхностей.

В новых обстоятельствах монополия РЛНД на рынке может нарушиться в силу целого ряда обстоятельств:

*Во-первых*, большинство методических рекомендаций по использованию бактерицидных ртутных ламп ориентированы на воздействие на бактерии в диапазоне первого максимума спектра действия  $S(\lambda)$ . Интересно, что наличие второго максимума на кривой  $S(\lambda)$  во многих нормативных документах не учитывается.

Во-вторых, спектр действия УФС-излучения на вирусы имеет характерные отличия от бактерицидного, что иллюстрируется рис. 2.

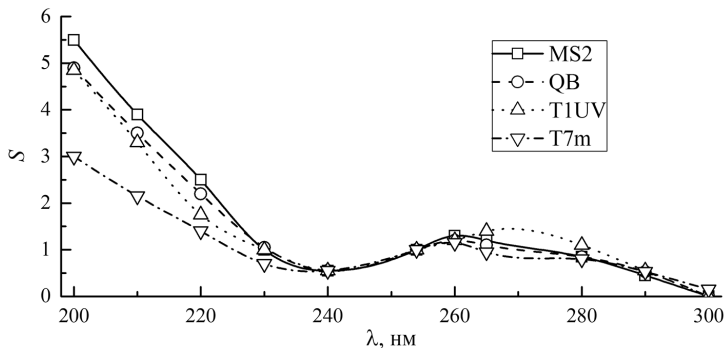


Рис. 2. Спектры действия для MS2, QB, T1UV, T7m (восстановлено по данным [8]). Точки для 200 и 300 нм получены путём экстраполяции

Здесь в качестве тест-объектов использованы бактериофаги, применение которых для безопасного тестирования источников излучения вместо оригинальных вирусных организмов является распространенной практикой [6]. В данном случае спектр действия был определен как функция  $S(\lambda)$ , отображающая реакцию организма на идентичные дозы УФ-излучения при действии различных монохроматических длин волн, причём  $S(254.7) = 1$ . По рис. 2 видно, что для всех спектров характерно заметное увеличение летальности фагов к излучению в диапазоне  $200 < \lambda < 240$  нм, которая может быть 1.5–3 раза выше в сравнении с излучением РЛНД на  $\lambda = 254.7$  нм. Дополнительно следует отметить, что коротковолновое УФ-излучение повреждает не только ДНК и РНК вирусов, но и белки, расположенные на поверхности их оболочек, ответственных за прикрепление к клеткам-хозяевам [7]. Это значит, что повреждение фаговых белков коротковолновым УФС-излучением может влечь за собой потерю вирусами и способности к инфицированию клеток. Другими словами, спектральная характеристика РЛНД недостаточно эффективна для обеспечения вирулицидного действия, по сравнению с источниками, излучающими на  $\lambda < 240$  нм.

В-третьих, в странах ЕС с 2011 года, а с недавнего времени и в РФ, идёт поэтапное выведение ртутных ламп из производственного цикла, что обусловлено осознанной населением опасностью ртути для здоровья

человека. Кроме того, массовое производство РЛНД сопряжено с большими расходами на их утилизацию.

В сложившейся ситуации подорвать позиции РЛНД в отношении обеспечения вирулицидного действия могут УФС-эксилампы, разработанные в Институте сильноточной электроники СО РАН в 2003-2011 гг. [9]. Их спектр показан на рис. 3.

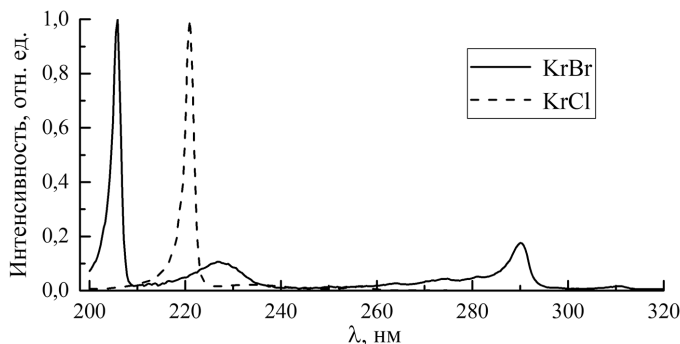


Рис. 3. Спектры излучения KrCl- и KrBr-эксиламп

Согласно изложенным выше фактам, указанные эксилампы могут обладать большей вирулицидной эффективностью. В 2015 г. в центре радиологических исследований (Нью Йорк, США) с помощью созданных нами эксиламп было доказано, что сравнительно низкие дозы коротковолновой части УФС-излучения ( $207 < \lambda < 222$  нм) не оказывают вреда для клеток открытой кожи млекопитающих, но достаточны для инактивации бактерий и вирусов. В частности, было впервые показано, что ультрафиолет KrCl-эксилампы при дозах  $2$  мДж/см<sup>2</sup> инактивирует >95% аэрозольного вируса гриппа H1N1 и сделан вывод о том, что данная эксилампа является перспективным, безопасным и недорогим инструментом для уменьшения распространения микробных заболеваний, вызванных воздушно-капельным путем [10].

Сроки службы таких ламп пока на порядок меньше, чем у РЛНД, но если потребители согласятся с этим недостатком, желая получить лучшую защиту от вирусных инфекций, то УФС-эксилампы могут стать подрывной технологией.

Результаты получены в ходе выполнения государственно задания ИСЭ СО РАН по теме № 13.1.4.

## Литература

1. Clayton M., Christensen C.M., McDonald R. et al. Clayton M. Disruptive Innovation: An Intellectual History and Directions for Future Research // *Journal of Management Studies*. – 2018. – Vol. 55, Is. 7. – P. 1043–1078.
2. Глибин В.Ф. Оценка новых бактерицидных ламп для применения их в целях обеззараживания воды // *Гигиена и санитария*. – 1953. – № 3. – С. 7–9.
3. Oppenländer T. *Photochemical Purification of Water and Air*. – Weinheim : Wiley-Vch Verlag, 2003. – 368 p.
4. Sonntag von G. Disinfection with UV-radiation // *Process Technologies for Water Treatment Process Technologies for Water Treatment. Earlier Brown Boveri Symposia* / Ed. S. Stuki. – Springer, Boston, MA, 1987. – P. 159–177.
5. Doremalen van N. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1 // *N. Engl. J. Med.* – 2020. – Vol. 382. – P. 1564–1567.
6. Mamane-Gravetz H., Linden K.G., Cabaj A., Sommer R. Spectral sensitivity of *Bacillus subtilis* spores and MS2 coliphage for validation testing of ultraviolet reactors for water disinfection // *Environ. Sci. Technol.* – 2005. – Vol. 39, No. 20. – P. 7845–7852.
7. Jagger J. *Introduction to Research in Ultraviolet Photobiology*. – Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J, 1967. – 164 p.
8. Beck S.E., Wright H.B., Hargy T.M. et al. Action spectra for validation of pathogen disinfection in medium-pressure ultraviolet (UV) systems // *Water Res.* – 2015. – Vol. 70, No. 3. – P. 27–37.
9. Автаева С.В., Жданова О.С., Пикuleв А.А., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф. Новые направления в научных исследованиях и применении эксиламп. – Томск : STT, 2013. – 246 с.
10. Welch D., Buonanno M., Grilj V. et al. Far-UVC light: A new tool to control the spread of airborne-mediated microbial diseases // *Sci. Rep.* – 2018. – Vol. 8. – P. 2752.