

УДК 537.527.5:579.6

**Дистанционное обеззараживание объектов направленным импульсным широкополосным УФ-излучением**

В. П. Архипов, А. С. Камруков, Н. П. Козлов, А. А. Макаrchук

*Предложена технология дистанционного оперативного обеззараживания удаленных контаминированных объектов, основанная на использовании направленного импульсного широкополосного УФ-излучения биоцидного диапазона. В качестве генераторов биоцидного излучения используются прожекторные установки с импульсными короткодуговыми ксеноновыми лампами высокого давления. Показано, что применение таких установок на дистанции порядка нескольких десятков метров позволяет осуществлять эффективное обеззараживание удаленных объектов за единицы минут. Предлагаемый подход открывает новые физические и технические пути решения актуальных задач повышения безопасности жизнедеятельности в современных условиях и имеет перспективу достаточно широкого практического применения.*

PACS: 52.80.Mg

*Ключевые слова:* импульсное ультрафиолетовое излучение, ксеноновая лампа, прожектор, дистанционное обеззараживание, сенная палочка.

**Введение**

В настоящее время активно развиваются и широко применяются различные химические и физические методы обеззараживания объектов [1]. При этом возможности их дистанционного применения, как правило, не обсуждаются. В то же время возможны ситуации, когда требуется обеспечить обеззараживание объектов, удаленных от применяемых технических средств на расстояния порядка нескольких десятков и более метров. Такие ситуации могут возникнуть в зонах природных и техногенных катастроф, при экстренной ликвидации последствий террористических актов с применением биоагентов, при дезинфекционной обработке помещений большого объема и др.

Одним из возможных решений задачи дистанционного обеззараживания контаминированных

объектов является использование генераторов направленного УФ-излучения биоцидного диапазона ( $\lambda = 200\text{—}315$  нм). При этом для обеспечения многоканального деструктивного воздействия на все жизненно важные биологические структуры клетки (нуклеиновые кислоты, белки, мембраны и др.) и, соответственно, высокой эффективности и надежности инактивации микрофлоры желательны, чтобы спектр воздействующего УФ-излучения непрерывно перекрывал весь биоцидный диапазон [2, 3]. Это ограничивает применение для рассматриваемых целей УФ-лазеров как источников направленного, но монохроматического излучения.

В данной работе в качестве генератора направленного биоцидного излучения предлагается использовать прожекторную систему на основе импульсной короткодуговой ксеноновой лампы высокого давления. Такие лампы имеют компактное изолированное тело свечения, хорошо согласующееся со светотехническими системами, концентрирующими энергию в малых телесных углах, характеризуются высокой спектральной яркостью излучения и сплошным эмиссионным спектром с максимумом в УФ-области и могут работать в импульсно-периодических режимах с достаточно большой частотой (до нескольких килогерц) следования импульсов и высокой средней электрической мощностью (сотни ватт и более) [4].

---

Архипов Владимир Павлович, ведущий инженер.  
Камруков Александр Семенович, зав. отделом.  
Козлов Николай Павлович, главный научный сотрудник.  
Макаrchук Азамат Александрович, магистр.  
Московский государственный технический университет  
им. Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет).  
Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
E-mail: kamrukov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 3 октября 2016 г.

---

© Архипов В. П., Камруков А. С., Козлов Н. П., Макаrchук А. А., 2016

В настоящее время обеззараживание объектов (воды, воздуха, продуктов питания и др.) импульсным УФ-излучением сплошного спектра является сравнительно новой технологией дезинфекции, обеспечивающей, как показывают многочисленные исследования, проведенные в нашей стране [3, 5—7] и за рубежом [8—12], высокую эффективность деконтаминации обрабатываемых объектов и оперативность процесса. В качестве источников УФ-излучения в данной технологии используются импульсные ксеноновые лампы трубчатой геометрии со сравнительно протяженным (10—50 см) межэлектродным промежутком (длиной дуги). Трубчатые лампы имеют большую площадь тела свечения, что позволяет обрабатывать значительные поверхности в непосредственной близости от лампы.

Однако большие размеры тела свечения не достаточно оптимально согласуются со светотехническими системами, передающими энергию на большие расстояния. В этом отношении импульсные короткодуговые (длина дуги ~0,1...1 см) ксеноновые лампы обладают определенными преимуществами и за счет лучшего приближения к "точечности" источника позволяют концентрировать световую энергию в меньшие телесные углы. Кроме того, такие лампы, вследствие того, что плазма при разряде не контактирует с кварцевой колбой, могут работать при существенно более высоких эффективных температурах излучения, чем трубчатые ксеноновые лампы. В трубчатых лампах излучающая плазма в течение основной стадии разряда непосредственно взаимодействует с цилиндрической кварцевой стенкой лампы, которая ограничивает радиальное расширение плазмы и должна выдерживать ее давление.

С точки зрения генерации биоцидного УФ-излучения, такая ситуация не является оптимальной по двум соображениям. Во-первых, при контакте высокотемпературной плазмы с кварцем за счет мощных тепловых потоков происходит импульсный разогрев поверхностных слоев кварца вплоть до температуры его испарения, что приводит к уменьшению пропускания стенки в коротковолновой (биоцидной) УФ-области спектра. Во-вторых, силовой контакт плазмы со стенкой ограничивает максимальные значения эффективных (ярких, радиационных) температур излучения лампы на уровне ~9000 К, так как дальнейшее их повышение приводит к значительному росту ударно-динамических нагрузок на кварцевую оболочку и резкому снижению ресурса лампы. Для равновесного излучателя, к которому приближается ксеноновая плазма в импульсных лампах, максимальный спектральный КПД в наиболее актуальном диапазоне биоцидного спектра, соответ-

ствующем диапазону УФ-С ( $\Delta\lambda = 200\text{—}280$  нм), достигается при больших эффективных температурах излучения ( $T_{\text{эфф}} \sim 15500 \pm 2000$  К). Характерные температуры излучения импульсных короткодуговых (шаровых) ламп составляют 10000—25000 К в зависимости от выбранного энергетического режима [4]. На сегодняшний день работы, в которых импульсные короткодуговые ксеноновые лампы применялись бы для целей обеззараживания объектов, авторам не известны.

Целью настоящей работы являлось экспериментальное исследование возможности дистанционного обеззараживания удаленных контаминированных микрофлорой объектов направленным потоком широкополосного УФ-излучения, генерируемого светотехнической системой прожекторного типа с импульсной короткодуговой ксеноновой лампой.

### Экспериментальная установка и методики измерений

В описываемых экспериментах в качестве источника излучения использовалась серийная шаровая ксеноновая лампа ДКсШ-3000 с межэлектродным расстоянием 7 мм и начальным (холодным) давлением ксенона  $7 \times 10^5$  Па. Лампа, предназначенная для работы в режиме непрерывного горения с мощностью 3 кВт, эксплуатировалась нами в нестандартном, а именно, в импульсно-периодическом режиме. Источником питания лампы являлся конденсатор емкостью 3 мкФ, заряжаемый до напряжения 1,65 кВ. Электрическая энергия вспышки ~4 Дж. Конденсатор заряжался от блока питания, обеспечивающего максимальную частоту следования разрядных импульсов 60 Гц; при этом средняя электрическая мощность на лампе могла достигать ~250 Вт. Инициирование разряда в лампе осуществлялось подачей на электроды лампы высоковольтного импульса поджига, формируемого внешним по отношению к разрядному контуру импульсным трансформатором (схема параллельного поджига). Для защиты блока питания в разрядном контуре устанавливались линейки обратных диодов, которые формировали в лампе униполярный импульс тока. Максимум разрядного тока в лампе составлял  $I_{\text{max}} \sim 1$  кА и достигался на 7-й мкс с момента инициирования, длительность токового импульса по уровню  $(1/e)$   $I_{\text{max}} \sim 55$  мкс.

Для концентрации светового потока лампы использовалось параболическое зеркало диаметром ~300 мм с внешним алюминированием. Лампа устанавливалась вдоль оптической оси зеркала. Для достижения наибольшей эффективности прожек-

торной системы центр светящегося тела должен быть совмещен с фокусом параболического зеркала. Однако в импульсном дуговом разряде светящееся тело (дуга) изменяет свое пространственное положение в каждом новом импульсе. В результате для повторяющегося с частотой несколько герц и более импульсного дугового разряда тело свечения и его изображение при визуальном наблюдении не имеет четких границ, что вносит заметную неопределенность и существенно снижает качество фокусировки традиционными методами (коллимационными, автоколлимационными, методом фокального пятна и др.). В настоящей работе для фокусировки импульсного прожектора применен новый проекционно-теневого метод [13], малочувствительный к нестабильности положения светящейся плазменной дуги и пригодный для использования в обычных лабораторных условиях.

Спектрально-энергетические характеристики импульсной лампы и прожектора измерялись калиброванным спектральным комплексом «Спектр-01» [14], позволявшим осуществлять одновременную регистрацию излучения в 4-х спектральных областях —  $270 \pm 20$ ,  $430 \pm 50$ ,  $555 \pm 50$  и  $1000 \pm 70$  нм — с временным разрешением не хуже 0,1 мкс. Сигналы со всех измерительных приборов подавались на цифровые осциллографы Tektronix TDS-1002B с полосой пропускания 60 МГц. При осциллографировании сигналов с фотоприемников использовался режим регистрации, усредняющий сигнал по 128 импульсам. При измерении излучательных характеристик прожектора фотоприемники спектрального комплекса снабжались дополнительными, ослабляющими излучение диафрагмами и сетчатыми фильтрами и располагались в центре светового пятна на расстоянии  $L = 10$  м от среза зеркала. Это расстояние превышало т.н. дистанцию оформления пучка  $L_0$  или расстояние, на-

чиная с которого в формировании пятна излучения участвует вся поверхность параболического отражателя. Дистанция оформления пучка  $L_0$  рассчитывалась по формуле из работы [15], полученной для прожектора с продольно расположенным равномерным линейным источником света длиной  $l$ , а именно:

$$L_0 = \frac{2}{l} \left( F + \frac{D^2}{16 \cdot F} \right)^2$$

и составляла  $\sim 6,7$  м (здесь  $D = 306$  мм — диаметр зеркала;  $F = 75$  мм — его фокусное расстояние;  $l = 7$  мм — длина дуги).

### Результаты спектрально-энергетических измерений

На рис. 1 представлены спектральные распределения силы излучения импульсной ксеноновой лампы и импульсного прожектора вместе с характерной осциллограммой импульса излучения в коротковолновой УФ-области спектра ( $\lambda \sim 270$  нм). Как можно видеть, во всей УФ-области спектра ( $\lambda < 400$  нм) прожектор излучает более 50 % генерируемой мощности; эффективная длительность импульса УФ-излучения на полувысоте составляет  $\sim 11$  мкс.

Интегральные по спектру осевая сила излучения прожектора и сила излучения лампы определялись интегрированием полученных экспериментальных спектров по длинам волн в диапазоне  $\lambda = 190$ —1100 нм. Осевая сила излучения прожектора составила  $\sim 17$  МВт/ср, лампы — 6,3 кВт/ср; таким образом, средний по спектру коэффициент концентрации потока излучения прожектора оказался равным  $\sim 2700$ .

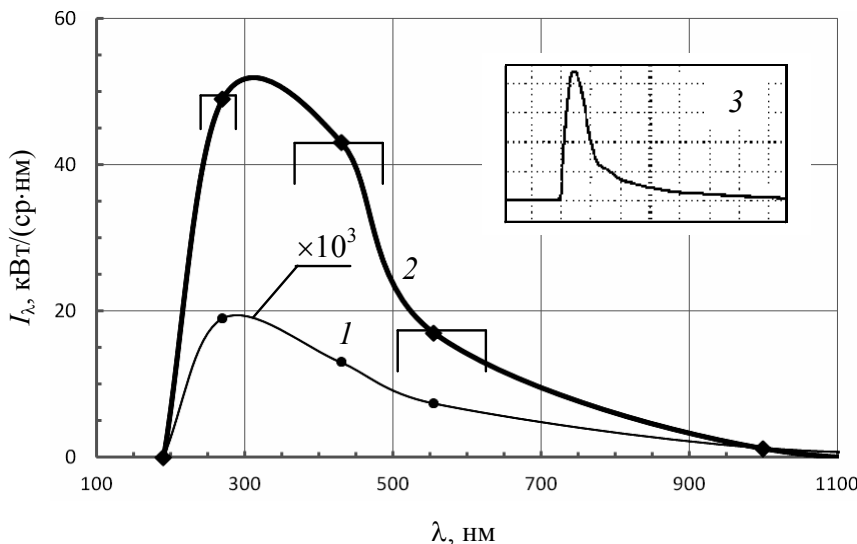


Рис. 1. Спектральные распределения силы излучения импульсной ксеноновой лампы (1) и прожектора (2) с характерной осциллограммой импульса излучения в коротковолновой УФ-области спектра ( $\lambda \sim 270$  нм) (3). Развертка — 10 мкс/дел. Незамкнутыми прямоугольниками показаны области спектральной чувствительности используемых фотоприемников.

Для определения яркостных температур лампы помимо спектральных сил излучения необходимо знать текущие размеры тела свечения, которые в данных экспериментах не измерялись. Однако оценку максимальных яркостных температур лампы  $T_\lambda$  можно сделать по измерениям спектральных сил излучения прожектора  $I_\lambda$ , используя закон Манжена [16], согласно которому справедливо соотношение:

$$I_\lambda = k_{oc} B_\lambda S,$$

где  $k_{oc} = 0,5—0,8$  — эффективность светотехнической системы, определяемая коэффициентом отражения зеркала, степенью виньетирования светового пучка элементами конструкции, площадью центрального («слепого») отверстия в зеркале (при его наличии) и др. (для рассматриваемого прожектора, согласно расчетным оценкам, принято значение  $k_{oc} = 0,7$ );  $S = \pi D^2/4$  — площадь выходного зрачка отражателя ( $D$ -диаметр зеркала);  $B_\lambda = f(T_\lambda)$  — спектральная яркость источника излучения, связанная с яркостной температурой  $T_\lambda$  функцией Планка.

Определенные таким образом яркостные температуры лампы на различных длинах волн в УФ- и видимой областях оказались достаточно близкими (разброс их значений не превышал 10 %) и составляли в среднем  $\sim 13000$  К\*. В наиболее актуальном для инактивации микроорганизмов спектральном диапазоне — диапазоне УФ-С ( $\Delta\lambda = 200—280$  нм) интенсивность излучения прожектора и угловая плотность энергии излучения в импульсе составила  $\sim 2,8$  МВт/ср и 30 Дж/ср соответственно. Угол рассеяния излучения по уровню половинной интенсивности  $\sim 2^\circ$ . На расстоянии 10 м визуально наблюдаемое световое пятно имело диаметр  $\sim 60$  см.

### Методика и результаты микробиологических исследований

Экспериментальная оценка биоцидной эффективности прожекторной установки проведена с использованием в качестве тест-культуры клеток штамма сенной палочки *Bacillus subtilis*, устойчивого к антибиотику спектиномицину. Бактерии высевались на чашки Петри ( $\varnothing 80$  мм) на LB-агар со спектиномицином и облучались с расстояния

10 м от прожектора. В центре светового пятна, где размещались исследуемые образцы, импульсные облученность и флюенс в УФ-С диапазоне составляли  $2,8$  Вт/см<sup>2</sup> и  $0,03$  мДж/см<sup>2</sup> соответственно. Исходная плотность контаминации ( $N_0 \sim 200$  клеток на чашку) выбиралась из условия, при котором колонии, выросшие из каждой клетки, были различимы визуально. Для более точной дозировки энергии на первом этапе облучение осуществлялось на низкой частоте следования импульсов (7 Гц). Проведено несколько циклов облучения с различными временами экспозиции и с трехкратной повторностью на каждой. Выбранный шаг по времени (20 с) соответствовал цугу из 140 импульсов. Контрольные образцы не облучались, но открывались в том же помещении на 30 с. По окончании экспериментов чашки термостатировались при  $37^\circ\text{C}$  в течение 24 часов, после чего производился подсчет выросших колоний.

На рис. 2 приведены фотографии контрольной и обработанных с различными дозами облучения объектов исследования, а в таблице результаты подсчета числа выросших колоний, соответствующих числу выживших бактерий  $N$ . Эффективность обеззараживания  $\eta$  рассчитывалась по формуле:

$$\eta = \left(1 - \frac{N}{N_0}\right) \cdot 100 \%$$

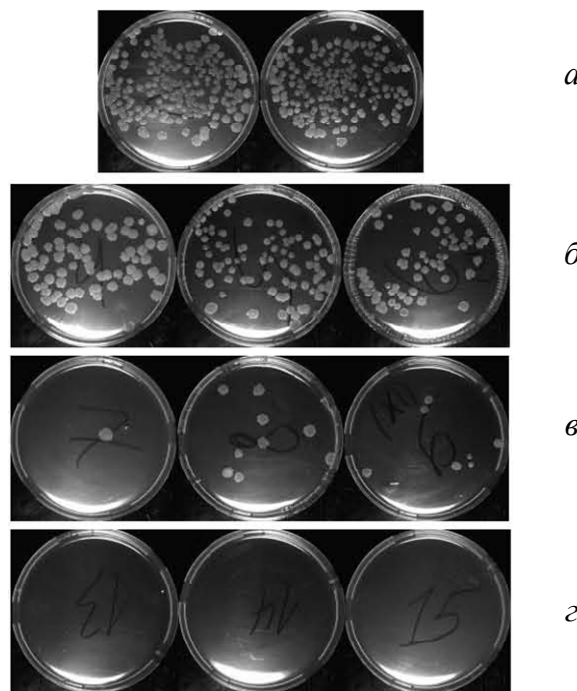


Рис. 2. Контрольные (а) и облученные с расстояния 10 м (б—г) образцы объектов исследования. б — число импульсов облучения  $N = 140$ , суммарный флюенс УФ-С излучения  $D_{уф-с} = 4,2$  мДж/см<sup>2</sup>; в —  $N = 280$ ,  $D_{уф-с} = 8,4$  мДж/см<sup>2</sup>; г —  $N = 560$ ,  $D_{уф-с} = 16,8$  мДж/см<sup>2</sup>.

\* Яркостная температура лампы в ИК-области ( $\lambda = 1000$  нм) оказалась существенно меньше  $\sim 8000$  К, при этом длительность импульса ИК-излучения на полувысоте составляла  $\sim 85$  мкс и в 5 раз превышала длительность импульса в видимой области и почти в 8 раз — длительность импульса УФ-излучения.

Таблица

## Результаты микробиологических исследований

Время облучения $t$ , с	Энергетическая доза в УФ-С диапазоне $D$ , мДж/см <sup>2</sup>	Количество выживших бактерий $N$ , шт.			Среднее значение $N_{ср}$ , шт.	Эффективность обеззараживания $\eta$ , %
		Чашка № 1	Чашка № 2	Чашка № 3		
0 (контроль)	0	201	219	183	201	0
20	4,2	82	87	65	78	61,2
40	8,4	1	9	7	5,7	97,2
80	16,8	0	0	0	$\leq 0,33^*$	$\geq 99,8$

\* Оценка вероятности наличия выживших бактерий по трем независимым реализациям.

Проведенные эксперименты показали, что уже за 280 импульсов облучения эффективность дистанционной инактивации бактерий сенной палочки превышает 95 % (см. таблицу). Зависимость эффективности обеззараживания от суммарной энергетической дозы (или общего флюенса) импульсного широкополосного излучения в УФ-С диапазоне представлена на рис. 3, откуда можно оценить энергетическую дозу, снижающую исходную

контаминацию бактерий *Bacillus subtilis* в 10 раз, —  $D_{10} \approx 7$  мДж/см<sup>2</sup>. Оцененное значение дозы  $D_{10}$  находится в хорошем соответствии с известными экспериментальными данными по УФ- резистентности рассматриваемых бактерий в вегетативной форме, полученными в экспериментах с ртутными бактерицидными лампами низкого давления ( $D_{10} = 4\text{—}6$  мДж/см<sup>2</sup> [17] или 7,1 мДж/см<sup>2</sup> [18]).

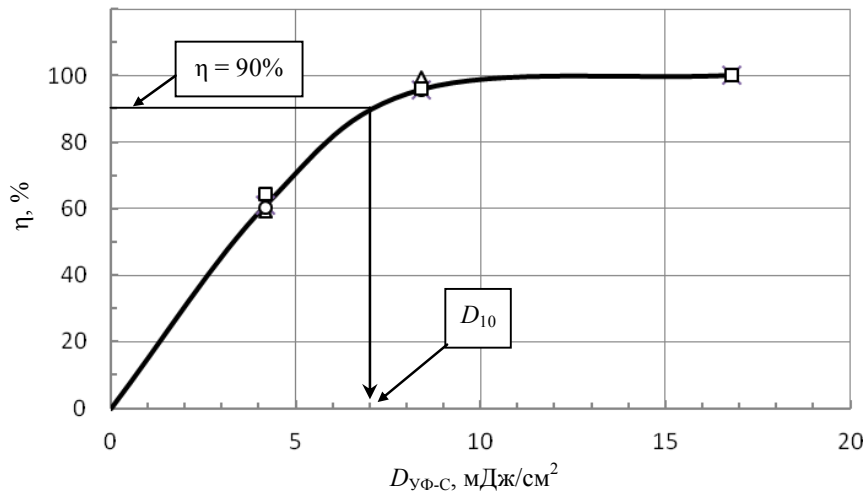


Рис. 3. Зависимость эффективности обеззараживания от флюенса импульсного широкополосного излучения в УФ-С диапазоне.

При облучении 560 импульсами имело место полное обеззараживание исследуемых объектов во всех опытах\*. Суммарная доза (флюенс) бактерицидного УФ-С излучения при этом составила  $\sim 17$  мДж/см<sup>2</sup>. При частоте вспышек  $f = 7$  Гц (средняя электрическая мощность лампы 28 Вт) процедура полного обеззараживания длилась 80 секунд, при  $f = 60$  Гц (240 Вт) — не превышала 10 с.

При увеличении дистанции УФ-обработки облученность объектов уменьшается пропорцио-

нально квадрату расстояния, соответственно увеличивается требуемое время стерилизации с аналогичным ростом площади обеззараживаемой поверхности. Из полученных данных следует, что применение импульсных прожекторных установок киловаттного уровня средней мощности на дистанции порядка 100 м позволит осуществлять эффективное обеззараживание удаленных контаминированных объектов за единицы минут. Заметим, что на сегодняшний день мировая практика не знает технологий и установок дезинфекции удаленных объектов с аналогичными или даже близкими характеристиками по эффективности и оперативности обеззараживания.

\* Ввиду небольшого начального числа колониеобразующих единиц относительно эффективности обеззараживания можно утверждать, что она превышает 99,8 %, поскольку только в трех независимых реализациях не обнаружено роста колоний.

Предлагаемые технология и технические средства могут найти применение при решении задач, возникающих в зонах чрезвычайных ситуаций, при экстренной ликвидации последствий террористических актов с применением биоагентов, а также при дезинфекционной обработке помещений большого объема и специальных технических объектов, например, межпланетных спускаемых космических аппаратов [19]. В последнем случае схема дистанционного обеззараживания может включать несколько прожекторов, облучающих объект с различных направлений, а сам объект устанавливается на поворотной (под разными углами) платформе.

### Заключение

В работе предложена и реализована новая технология дистанционного оперативного обеззараживания удаленных контаминированных объектов, основанная на использовании направленного импульсного широкополосного УФ-излучения биоцидного диапазона. Генератором направленного биоцидного излучения являлась прожекторная установка с импульсной короткодуговой ксеноновой лампой высокого давления. При электрической энергии вспышки лампы 4 Дж установка обеспечивала в наиболее актуальном УФ-С диапазоне спектра осевую интенсивность излучения 2,8 МВт/ср и угловую плотность энергии излучения в импульсе 30 Дж/ср с расходимостью луча 2°.

С использованием в качестве тест-культуры вегетативных бактерий *Bacillus subtilis* проведена оценка биоцидной эффективности разработанной прожекторной установки. Определена энергетическая доза (флюенс) импульсного широкополосного излучения УФ-С диапазона, снижающая исходную контаминацию бактерий *Bacillus subtilis* в 10 раз, которая составила 7 мДж/см<sup>2</sup> и оказалась близкой по величине к аналогичной дозе монохроматического УФ-излучения ( $\lambda = 254$  нм) ртутной лампы низкого давления.

Экспериментально показано, что при средней электрической мощности лампы ~30 Вт полное обеззараживание (стерилизация) исследованных контаминированных объектов с расстояния 10 м достигается за 80 секунд, при мощности лампы ~250 Вт — за 10 секунд.

Возможное применение импульсных прожекторных установок киловаттного уровня средней мощности на дистанции порядка 100 м позволит осуществлять эффективное обеззараживание удаленных контаминированных объектов за единицы минут.

Предлагаемый подход открывает новые физические и технические пути решения актуальных задач повышения безопасности жизнедеятельности в современных условиях и имеет перспективу достаточно широкого практического применения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках Федеральной целевой программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы", мероприятие 1.2 (уникальный идентификатор проекта RFMEFI57414X0067).*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Kowalski W. J. Aerobiological Engineering Handbook. Airborne Disease and Control Technologies. — McGraw-Hill, 2006.
2. Конев С. В., Волоотовский И. А. Введение в молекулярную фотобиологию. — Минск: Наука и техника, 1971.
3. Камруков А. С., Козлов Н. П., Шашковский С. Г., Яловик М. С. // Безопасность в техносфере. 2009. № 3. С. 31.
4. Маршак И. С. Импульсные источники света. — М.: Энергия, 1978.
5. Архипов В. П., Камруков А. С., Козлов Н. П., Корон Е. Д., Шашковский С. Г., Яловик М. С. // Конверсия. 1996. № 6. С. 46.
6. Камруков А. С., Козлов Н. П., Шашковский С. Г., Яловик М. С. // Безопасность жизнедеятельности. 2003. № 1. С. 32.
7. Савенко С. М., Гольдштейн Я. А., Шашковский С. Г. // Стерилизация и госпитальные инфекции. 2006. № 2. С. 143.
8. Dunn J., Ott T., Clark W. // Food Technol. 1995. Vol. 49. No. 9. P. 95.
9. MacGregor S. J., Rowan N. J., McIlvaney L., Anderson J. G., Fouracre R. A., Farish O. // Letters Applied Microbiology. 1998. Vol. 27. P. 67.
10. Wekhof A. // PDA Journal of Pharmaceutical Science and Technology. 2000. Vol. 54. No. 3. P. 264.
11. Gómez-López V. M., Ragaert P., Debevere J. // Trends in Food Science & Technology. 2007. Vol. 18. P. 464.
12. Levin J., Riley L.S., Parrish C., English D., Ahn S. // American Journal of Infection Control. 2013. No. 41. P. 746.
13. Архипов В. П. / Патент RU № 2518911. 2014 г.
14. Архипов В. П., Жарников М. А., Камруков А. С., Плюснин А. В., Семенов К. А., Хаджиева Я. Я., Яловик М. С. / Сб. научн. трудов VI Междунар. Симпозиума по радиационной плазмодинамике. — М.: НИЦ «Инженер», 2003. С. 202.
15. Трембач В. В. Световые приборы. — М.: Светотехника и источники света, 1990.
16. Эпштейн М. И. Измерение оптического излучения в электронике. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
17. Coohill T. P., Sagripanti J.-L. // Photochemistry and Photobiology. 2008. Vol. 84. P. 1084.
18. Вассерман А. Л., Шандала М. Г., Юзбашев В. Г. Ультрафиолетовое излучение в профилактике инфекционных заболеваний. — М.: Медицина, 2003.
19. Архипов В. П., Камруков А. С., Козлов Н. П., Макачук А. А. / Патент RU № 2559780. 2015 г.

## Remote decontamination of objects by pulsed broadband UV radiation

V. P. Arkhipov, A. S. Kamrukov, N. P. Kozlov, and A. A. Makarchuk

Bauman Moscow State Technical University (National Research University)

5, 2-nd Baumanskaya str., Moscow, 105005, Russia

E-mail: kamrukov@mail.ru

Received October 3, 2016

***The new technology of remote operational disinfection of contaminated objects based on the use of directional pulsed broadband UV radiation of the biocidal range is proposed. Used are the searchlight installation with pulsed short-arc xenon high-pressure lamps as generators of the biocidal radiation. It is shown that the use of such plants at a distance of the order of several tens of meters allows effective disinfection of remote objects for units of minutes. The proposed approach opens new physical and technological solutions to the pressing problems of improving life safety in modern conditions and has a perspective for broad practical application.***

PACS: 52.80.Mg

**Keywords:** pulsed ultraviolet light, xenon lamp, searchlight, remote disinfection, *Bacillus subtilis*.

### REFERENCES

1. W. J. Kowalski, *Aerobiological Engineering Handbook. Airborne Disease and Control Technologies* (McGraw-Hill, 2006).
2. S. V. Konev, I. A. Volotovskiy, *Introduction to Molecular Photobiology* (Nauka i tehnologiyay, Minsk, 1971) [in Russian].
3. A. S. Kamrukov, N. P. Kozlov, S. G. Saskowski, and M. S. Yalovik, *Bezopasnost v Tehnosfere* **3**, 31 (2009).
4. I. S. Marshak, *Pulsed Light Sources* (Energiya, Moscow, 1978) [in Russian].
5. V. P. Arkhipov, A. S. Kamrukov, N. P. Kozlov, E. D. Korop, S. G. Saskowski, and M. S. Yalovik, *Konversiya*, No. 6, 46 (1996).
6. A. S. Kamrukov, N. P. Kozlov, S. G. Saskowski, and M. S. Yalovik, *Bezopasnost Zhiznedeyatel'nosti*, No. 1, 32 (2003).
7. S. M. Savenko, J. A. Goldstein, and S. G. Saskowski, *Sterilizatsiya i Gospital'nyy Infekcii*, No. 2, 143 (2006).
8. J. Dunn, T. Ott, and W. Clark, *Food Technol.* **49** (9), 95 (1995).
9. S. J. MacGregor, N. J. Rowan, L. McIlvaney, J. G. Anderson, R. A. Fouracre, and O. Farish, *Letters Applied Microbiology* **27**, 67 (1998).
10. A. Wekhof, *PDA Journal of Pharmaceutical Science and Technology* **54** (3), 264 (2000).
11. V. M. Gómez-López, P. Ragaert, and J. Debevere, *Trends in Food Science & Technology* **18**, 464 (2007).
12. J. Levin, L. S. Riley, C. Parrish, D. English, and S. Ahn, *American Journal of Infection Control* **41**, 746 (2013).
13. V. P. Arkhipov, Patent RF No. 2518911 (2014).
14. V. P. Arkhipov, M. A. Zharnikov, A. S. Kamrukov, A. V. Plyusnin, K. A. Semenov, J. J. Hadjieva, and M. S. Yalovik, in *Proceedings of the VI Intern. Symposium of Radiation Plasmodynamics* (Moscow, 2003), pp. 202–204.
15. V. V. Trembach, *Svetovye pribori* (Svetotekhnika i istochniki sveta, Moscow, 1990) [in Russian].
16. M. I. Epstein, *Measurements of Optical Radiation in Electronics* (Energoatomizdat, Moscow, 1990) [in Russian].
17. T. P. Coohill and J.-L. Sagripanti, *Photochemistry and Photobiology* **84**, 1084 (2008).
18. A. L. Vasserman, M. G. Shandala, V. G. Yuzbashev *Ultraviolet radiation in the prevention of infectious diseases* (Medicina, Moscow, 2003) [in Russian].
19. V. P. Arkhipov, A. S. Kamrukov, N. P. Kozlov, A. A. Makarchuk, Patent RU No. 2559780 (2015).