

УДК 621.327.7+628.513

Обзор



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-193-198

Г.С. Аксаныян¹,
В.В. Багров², ✉
А.С. Камруков²,
В.И. Крылов²,
В.А. Овчеренко³,
А.В. Овчеренко³,
В.Н. Сергеев⁴

¹ Некоммерческая организация
Национальный Союз свиноводов», Москва,
Российская Федерация

² Московский государственный
технический университет имени
Н.Э. Баумана (национальный
исследовательский университет), Москва,
Российская Федерация

³ ООО «Уфимский селекционно-гибридный
центр», Уфа, Российская Федерация

⁴ Некоммерческое партнерство «Академия
продовольственной безопасности»,
Москва, Российская Федерация

✉ bagrovvv@outlook.com

Поступила в редакцию:
08.04.2022

Одобрена после рецензирования:
02.08.2022

Принята к публикации:
22.08.2022

Review



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-193-198

Grigory S. Axanyan¹,
Valeriy V. Bagrov², ✉
Aleksandr S. Kamrukov²,
Vladimir I. Krylov²,
Vladislav A. Ovcherenko³,
Anton V. Ovcherenko³,
Valeriy N. Sergeev⁴

¹ National Union of Swine Breeders, Moscow,
Russian Federation

² Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russian Federation

³ "Ufa Breeding and Hybrid Center" LLC, Ufa,
Russian Federation

⁴ Academy of Food Safety, Moscow, Russian
Federation

✉ bagrovvv@outlook.com

Received by the editorial office:
08.04.2022

Accepted in revised:
02.08.2022

Accepted for publication:
22.08.2022

Концепция автоматизированной системы биологической защиты агропромышленных предприятий на базе новых плазменно-оптических технологий

РЕЗЮМЕ

Дан анализ физических и биологических особенностей новой плазменно-оптической технологии биоцидной обработки объектов и ее потенциальных возможностей применения для решения задач повышения биологической безопасности агропромышленных предприятий. Технология основана на обработке химически и микробиологически загрязненных объектов окружающей среды — воды, воздуха, поверхностей — высокоинтенсивным импульсным оптическим излучением сплошного спектра. Рассмотрены приоритетные направления разработок плазменно-оптического оборудования для агропромышленного комплекса и пищевого производства. Предложена новая концепция комплексной автоматизированной системы обеспечения биологической безопасности предприятий АПК в режиме реального времени

Ключевые слова: биологическая безопасность, импульсное ультрафиолетовое излучение, плазменно-оптические технологии, агропромышленное производство, антимикробная обработка

Для цитирования: Аксаныян Г.С., Багров В.В., Камруков А.С., Крылов В.И., Овчеренко В.А., Овчеренко А.В., Сергеев В.Н. Концепция автоматизированной системы биологической защиты агропромышленных предприятий на базе новых плазменно-оптических технологий. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-193-198>

© Аксаныян Г.С., Багров В.В., Камруков А.С., Крылов В.И., Овчеренко В.А., Овчеренко А.В., Сергеев В.Н.

The concept of an automated biological protection system for agro-industrial enterprises based on new plasma-optical technologies

ABSTRACT

The analysis of the physical and biological features of the new plasma-optical technology of biocidal treatment of objects and its potential applications for solving the problems of improving the biological safety of agro-industrial enterprises is given. The technology is based on the treatment of chemically and microbiologically polluted environmental objects — water, air, surfaces — with high-intensity pulsed optical radiation of a continuous spectrum. The priority directions of development of plasma-optical equipment for the agro-industrial complex and food production are considered. A new concept of a complex automated system for ensuring biological safety of agricultural enterprises in real time is proposed.

Key words: biological safety, pulsed ultraviolet radiation, plasma-optical technologies, agro-industrial production, antimicrobial treatment

For citation: Axanyan G.S., Bagrov V.V., Kamrukov A.S., Krylov V.I., Ovcherenko V.A., Ovcherenko A.V., Sergeev V.N. The concept of an automated biological protection system for agro-industrial enterprises based on new plasma-optical technologies. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-193-198> (In Russian).

© Axanyan G.S., Bagrov V.V., Kamrukov A.S., Krylov V.I., Ovcherenko V.A., Ovcherenko A.V., Sergeev V.N.

Введение/Introduction

Проблемы биологической безопасности агропромышленного производства и антимикробной обработки пищевых продуктов и сельскохозяйственной продукции являются на сегодняшний день чрезвычайно актуальными как в нашей стране, так и за рубежом и требуют решения на современном научном и технологическом уровне [1, 2].

Мировые тренды, связанные с парированием современных биологических угроз, в значительной степени ориентированы на развитие и внедрение новых физических методов и технологий, обладающих высоким биоцидным потенциалом.

К числу таких технологий относятся, в частности, радиационные технологии обеззараживания, основанные на использовании ионизирующих излучений (гамма-излучение, электронные пучки) [3, 4]. Несмотря на их биоцидную эффективность, применение таких технологий в агропромышленном комплексе весьма ограничено из-за их высокой радиационной опасности и наличия побочных негативных эффектов (геномная модификация биопродуктов, разрушение белков и витаминов, изменение биологических свойств обрабатываемой продукции и др.) [5].

В настоящее время в санитарно-гигиенической практике для дезинфекции воды и воздуха широко применяются УФ-технологии, при этом используются исключительно ртутные лампы непрерывного горения, так называемые ртутные бактерицидные лампы, известные уже более 100 лет. На сегодняшний день это самые эффективные технические источники ультрафиолета — до 40% подводимой электрической мощности преобразуется в коротковолновое УФ-излучение. Однако они характеризуются низкой интенсивностью излучения — обычно это доли ватта с одного квадратного сантиметра поверхности лампы — и монохроматическим спектром излучения — как правило, это одна узкая линия в актуальном УФ-диапазоне — 254 нм [6].

Эти факторы, так же как и ряд эксплуатационных особенностей таких ламп, ограничивают возможности и эффективность существующих УФ-технологий обеззараживания и не позволяют рассматривать их как биоцидные технологии, в полной мере отвечающие современным эколого-гигиеническим требованиям. Кроме того, с 2020 г. вступила в действие Минаматская конвенция по ртути, подписанная 128 странами мира, в том числе и Россией (2014 г.), и запрещающая производство, экспорт и импорт различных видов ртутьсодержащей продукции [7].

Целью настоящей статьи является разработка концепции автоматизированной системы биологической защиты агропромышленных предприятий на базе новых плазменно-оптических технологий и потенциальных возможностей ее применения при решении задач повышения биологической безопасности агропромышленных предприятий.

Новая технология/New technology

Новая технология основана на обработке химически и микробиологически загрязненных объектов окружающей среды — воды, воздуха, поверхностей (в том числе и раневых поверхностей) — высокоинтенсивным импульсным оптическим излучением сплошного спектра. Такое излучение генерируется мощными высокотемпературными (10000–20000 К) плазменными лампами с ксеноновым наполнением, работающими в импульсном режиме [8].

Спектр излучения таких ламп сплошной и близок к спектру солнечного излучения. Он непрерывно перекрывает всю УФ-, видимую и ближнюю инфракрасную области. Важно, что доля коротковолнового УФ-излучения в диапазоне длин волн 200–300 нм, которое обладает максимальной фотохимической и биоцидной активностью, в спектре применяемых ламп намного выше, чем в спектре Солнца.

Обработка загрязненных объектов осуществляется короткими по длительности (несколько десятков или сотен микросекунд) световыми импульсами очень высокой интенсивности, в десятки тысяч раз превышающей интенсивность самых мощных ртутных бактерицидных ламп.

Результаты многочисленных экспериментальных исследований, проведенных как за рубежом [9–31], так и в нашей стране [32–39], показывают, что такое излучение обладает уникальными биоцидными свойствами — там, где традиционные методы обеззараживания с использованием стандартных бактерицидных ртутных ламп снижают уровень зараженности в 1000 раз, данная технология уменьшает концентрацию микробов в несколько миллионов и более раз.

Высокая антимикробная эффективность в отношении широкого круга микроорганизмов — бактерий, в том числе споровых форм, вирусов, грибов и простейших — обусловлена сплошным (непрерывным) спектром УФ-излучения, его чрезвычайно высокой интенсивностью и коротким временем воздействия.

Широкополосное УФ-облучение микроорганизмов вызывает многоканальное деструктивное воздействие на все жизненно важные структуры клеточных и неклеточных форм (вирусы), разрушает органические соединения, в том числе белки и нуклеиновые кислоты. Это снижает возможности адаптации живой материи, лишает ее способности к воспроизводству и значительно повышает биоцидную эффективность такого вида воздействия по сравнению с традиционным линейчатым (монохроматическим) УФ-излучением. Сплошной спектр излучения, непрерывно перекрывающий всю УФ-область, принципиально обеспечивает резонансное биоцидное действие на различные виды микрофлоры, независимо от индивидуальных спектральных характеристик микроорганизмов.

Высокая импульсная интенсивность излучения многократно усиливает роль цепных реакций фотодеструкции с участием радикальных частиц, обеспечивает условия для значительного превышения скорости прямых (деструктивных) процессов над обратными (релаксационными, рекомбинационными, репарационными), позволяет наряду с фотохимическими механизмами разрушения клеток реализовать нестационарные фототермические и фотодинамические процессы деструкции [16–18, 20, 22].

В результате синергетического действия всех этих факторов имеет место существенное снижение пороговых энергетических доз, необходимых для обеспечения заданного уровня деконтаминации или достижения стерилизующего эффекта [14, 26, 30, 34, 37, 38].

Это приводит к тому, что, несмотря на высокую импульсную мощность излучения, средняя потребляемая электрическая мощность оказывается сравнительно небольшой, а процесс в целом — энергоэффективным. Обработка объектов осуществляется со скоростью от 1 до 20 световых вспышек в секунду, поэтому эти технологии могут обеспечить высокую производительность процесса дезинфекции. В частности, как показывают

эксперименты, одна импульсная ксеноновая лампа со средней электрической мощностью 1 кВт способна в течение 1 часа осуществить эффективную дезинфекцию 2000 м³ воздуха, 500 м² загрязненной поверхности и 10 м³ воды [34–37].

Новые технологии полностью отвечают критериям экологической чистоты и безопасности — они не требуют дополнительных химических реагентов (дезинфицирующих препаратов) и не дают отрицательных побочных эффектов (не вырабатывается озон и окислы азота, отсутствует ионизирующая компонента электромагнитного излучения). Применяемые лампы не содержат ртути и других токсичных химических веществ и являются экологически чистыми устройствами.

В настоящее время за рубежом развитие импульсных УФ-технологий рассматривается как исключительно перспективное направление для решения многих практически важных задач антимикробной обработки пищевых продуктов, упаковочной тары, изделий фармацевтической индустрии. Исследования и разработки в этом направлении проводятся достаточно широким международным фронтом, с высокой активностью и привлечением ведущих университетов, государственных медико-биологических, санитарно-гигиенических и научно-производственных структур, крупных частных компаний — производителей высокотехнологичного оборудования [31]. Инвестиции осуществляются как по программам государственно-бюджетного и грантового финансирования, так и частным капиталом.

Россия также обладает научным, техническим и технологическим потенциалом, необходимым для широкомасштабного развития и внедрения нового биоцидного оборудования в актуальные сегменты пищевой, агропромышленной и фармацевтической индустрии.

В частности, достаточно большой научно-технический задел и практический опыт в исследовании и разработках импульсной плазменно-оптической технологии и оборудования на ее основе накоплен в МГТУ им. Н.Э. Баумана [32–37]. Практически по всем направлениям внедрения новой технологии созданы макетные (экспериментальные) образцы изделий [33]; с участием специализированных биомедицинских и санитарно-гигиенических учреждений РФ проведена их экспериментальная апробация (в том числе и сертификация) и показана высокая эффективность предлагаемых технологий и технических средств. По результатам проведенных исследований получено более 30 патентов РФ и 2 патента США. Одно из направлений — обеззараживание воздуха и поверхностей для медицинских учреждений — успешно коммерциализировано: на сегодняшний день более 3000 установок реализовано на российском и мировом рынках [40]. За разработку и внедрение плазменно-оптических установок в космическую медицину и практическое здравоохранение в 2010 г. получена Премия Правительства РФ.

Разработанные технические средства обладают существенной новизной, многие из них не имеют мировых аналогов, характеризуются высоким потенциалом импортозамещения.

Результаты и обсуждение/ Results and discussion

Новое оборудование

В результате проведенного анализа возможностей новой технологии, по нашему мнению, приоритетными направлениями разработок плазменно-оптического

оборудования для АПК и пищевого производства являются:

1) в области повышения биобезопасности предприятий АПК (санитария и экология):

- плазменно-оптические установки (модули) для очистки, обеззараживания и дезодорации воздуха производственных помещений АПК (модули, встраиваемые в системы принудительной приточно-вытяжной вентиляции и рециркуляторы);

- промышленные плазменно-оптические автоматизированные установки глубокой очистки и обеззараживания воды, включая системы очистки воды для комплексов аквакультуры и гидропоники;

- промышленные плазменно-оптические установки очистки и обеззараживания сточных вод предприятий АПК и инфекционных медицинских учреждений;

- технические средства нового поколения для оперативной санитарной обработки производственных и складских помещений АПК, одежды персонала и транспортной техники;

- плазменно-оптические репеллентные установки для борьбы с грызунами и насекомыми в производственных и складских помещениях АПК;

2) в области пищевого машиностроения:

- туннельные установки антимикробной обработки пищевых продуктов (картофеля, мясной и рыбной продукции и др.), включая обработку упакованных продуктов;

- установки асептического розлива жидких пищевых продуктов;

- конвейерные установки биоцидной обработки упаковочных материалов и тары;

- плазменно-оптические установки для дезинфекции и дезинсекции сыпучих пищевых продуктов, зерна, комбикормов и посевного материала;

- холодильные камеры с интерьерной импульсной УФ-дезинфекцией;

3) в области ветеринарии:

- импульсные плазменно-оптические аппараты для неинвазивного лечения ран и раневой инфекции у домашних и сельскохозяйственных животных;

- плазменно-оптические установки для неинвазивной фотомодификации крови и повышения общей резистентности (иммунитета) организма животных к инфекционным заболеваниям и вредным факторам окружающей среды.

Новая концепция

Создание новых плазменно-оптических технологий и промышленное освоение производства оборудования для биологической защиты агропромышленных предприятий и асептической обработки продукции сельскохозяйственного производства позволит приступить к реализации новой концепции комплексной модульной автоматизированной системы обеспечения биологической безопасности предприятий АПК в режиме реального времени (КМАС «Редут»).

Автоматизированная система «Редут», как она представляется на сегодняшний день, должна состоять из комплекса инновационных плазменно-оптических установок различного назначения с единой (централизованной) системой управления и формировать четыре уровня защиты агропромышленного предприятия. Анализ рекомендаций из источников [41, 42, 43, 44] дает основание предлагать нумерацию уровней исходя из движения рисков (потоков): периметр территории возле производственного здания, вход в здание, внутренние помещения, выход из здания.

Первый уровень обеспечивает контроль периметра территории до здания (соответствующими видеосистемами и датчиками движения) и запрет доступа (включая дератизацию) в производственное помещение различных животных (в том числе грызунов и птиц), несущих потенциальную эпидемиологическую и эпизоотическую опасность, с помощью плазменно-оптических репеллентных (отпугивающих) устройств.

Второй уровень обеспечивает постоянно действующую профилактическую дезинфекцию с целью уничтожения на входе в помещение патогенных возбудителей болезней. В качестве микробиологического барьера используются плазменно-оптические установки дезинфекции питьевой и технической воды, входящего воздуха, комбикормов, а также комбинированные с новыми плазменно-оптическими средствами системы санитарной обработки транспорта, инвентаря, одежды и обуви обслуживающего персонала.

Третий уровень предотвращает распространение болезней среди животных через инфицированный воздух и насекомых в помещении. Эту задачу решают плазменно-оптические установки обеззараживания воздуха, работающие как постоянно (рециркуляторы, приборы с функцией ловушки-уничтожителя насекомых), так и периодически (открытые облучатели, обеспечивающие оперативную бактерицидную обработку помещения в отсутствие животных и персонала). При этом происходит снижение концентрации в воздухе вредных химических веществ и запахов (дезодорация).

В третий уровень также входят средства ветеринарной защиты сельскохозяйственных животных — плазменно-оптические аппараты для экспресс-обработки ран и профилактики раневой инфекции, аппараты для повышения иммунитета животных к инфекционным заболеваниям.

Четвертый уровень обеспечивает очистку и обеззараживание сточных вод, дезинфекцию и дезодорацию выходящего из производственного помещения воздуха, а в зданиях переработки сельхозпродукции — асептическую обработку готовой продукции с целью обеспечения ее биологической безопасности и увеличения сроков ее хранения.

Выводы/Conclusion

Таким образом, исследование и разработка новых плазменно-оптических технологий, их использование для биологической защиты агропромышленных предприятий и асептической обработки продукции сельскохозяйственного производства показало, что технология КМАС позволяет осуществлять оцифровку данных и проводить непрерывный мониторинг безопасного содержания животных в online-режиме через поддержание необходимых параметров плазменно-оптических установок и производственной среды, а также увеличить срок хранения продукции сельскохозяйственного производства. Это дает возможность определения текущего зоосанитарного статуса агрохозяйств и принятия экстренных мер для ликвидации возникающих биологических угроз.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 30 декабря 2020 г. № 492-ФЗ «О биологической безопасности в Российской Федерации» Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/46353/page/1> [Дата обращения 28.01.2022].
2. Demirci A., Feng H., Krishnamurthy K. Food Safety Engineering Springer Nature Switzerland AG, 2020. 760 p.
3. Чиж Т.В., Козьмин Г.В., Полякова Л.П., Мельникова Т.В. Радиационная обработка как технологический прием в целях повышения уровня продовольственной безопасности. *Вестник РАН*. 2011; 4: 44-49.
4. Козьмина Г.В., Гераскина С.А., Санжаровой Н.И. (общ. ред.) Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. *Обнинск: ВНИИРАЭ*. 2015. 400с.
5. Мусина О.Н., Коновалов К.П. Радиационная обработка ионизирующим излучением продовольственного сырья и пищевых продуктов. *Пищевая промышленность*. 2016; 8: 46-49
6. Кармазинов Ф. В., Костюченко С. В., Кудрявцев Н. Н., Храменков С. В. Ультрафиолетовые технологии в современном мире. *Долгопрудный: ИД Интеллект*. 2012. 392 с.
7. Минаматская конвенция о ртути. Режим доступа: <https://www.mercuryconvention.org/sites/default/files/2021-06/Minamata-Convention-booklet-rus-full.pdf> [Дата обращения 28.01.2022].
8. Маршак И.С. (ред.). Импульсные источники света. М.: Энергия. 1978. 472 с.
9. Dunn J., Ott T., Clark W. Pulsed-light treatment of food and packaging. *Food Technol.*, 1995;49(9): 95–98.
10. Dunn J. Pulsed light and pulsed electric field for foods and eggs». *Poultry Sci.* 1996;75: 1133–1136.
11. Dunn J., Burgess D., Leo F. Investigation of Pulsed Light for terminal Sterilization of WFI Filled Blw/Fill/Seal Polyethylene Containers. *PDA J. of Pharmaceutical Science and Technology*. 1997;51(3):111–115.

REFERENCES

1. Federal Law No. 492-FZ of December 30, 2020 "On Biological Safety in the Russian Federation" Access Mode <http://www.kremlin.ru/acts/bank/46353/page/1> [Accessed January 28, 2022] (in Russian.).
2. Demirci A., Feng H., Krishnamurthy K. Food Safety Engineering Springer Nature Switzerland AG, 2020. 760 p.
3. Chizh T.V. Kozmin G.V. Polyakova L.P., Melnikova T.V. Radiation processing as a technological method to increase the level of food security. *Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences*. 2011; 4:44-49. (in Russian.).
4. Koz'mina G.V., Geraskina S.A., Sanzharov N.I. (general ed.) Radiation technologies in agriculture and the food industry. *Obninsk: VNIIRAEH*. 2015. 400 p. (in Russian.).
5. Musina O.N., Konovalov K.P. Radiation treatment of food raw materials and food products with ionizing radiation. *Pishchevaya promyshlennost'*. 2016. 400 p. (in Russian.).
6. Karmazinov F. V., Kostyuchenko S. V., Kudryavcev N. N., Khramenkov S. V. UV technologies in the modern world. *Dolgoprudny: ID Intellekt*. 2012. 392 p. (in Russian.).
7. Minamata Convention on Mercury. Available from: <https://www.mercuryconvention.org/sites/default/files/2021-06/Minamata-Convention-booklet-rus-full.pdf> [Accessed January 28, 2022] (in Russian.).
8. Marshak I.S. (red.) Pulsed light sources. M.: *Ehnergiya*. 1978. 472 p. (in Russian.).
9. Dunn J., Ott T., Clark W. Pulsed-light treatment of food and packaging. *Food Technol.*, 1995;49(9): 95–98.
10. Dunn J. Pulsed light and pulsed electric field for foods and eggs». *Poultry Sci.* 1996;75: 1133–1136.
11. Dunn J., Burgess D., Leo F. Investigation of Pulsed Light for terminal Sterilization of WFI Filled Blw/Fill/Seal Polyethylene Containers. *PDA J. of Pharmaceutical Science and Technology*. 1997;51(3):111–115.

12. Dunn J., Bushnell A., Ott T., Clark W. Pulsed white light food processing. *Cereal Foods World*. 1997;42(7): 510–515.
13. Rowan J. N., MacGregor J. S., Anderson J.G., Fouracre R. A., McIlvaney L., Fairish O. Pulsed-Light Inactivation of Food-Related Microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology*. 1999;65(3): 1312–1315.
14. McDonald K., Curry R., Clevenger T., Brazos B., Unklesbay K., Eise Stark A., Baker S., Golden J., Morgan R. A comparison of pulsed vs. continuous ultraviolet light sources for de-contamination of surfaces. *Pulsed Power Conference, Digest of Technical Papers. 12th IEEE International*. 1999;2: 1484–1488. DOI:10.1109/PPC.1999.823812
15. Bintsis T., Litopoulou-Tzanetaki E., Robinson R. K. Existing and potential application of ultraviolet light in the food industry — a critical review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2000;80: 637–645.
16. Liltved H., Landfald B. Effects of high intensity light on ultraviolet-irradiated and nonirradiated fish pathogenic bacteria. *Water Research*. 2000;34(2): 481–486.
17. Wekhof A. Disinfection with flash lamps. *PDA J. of Pharmaceutical Science and Technology*. 2000;54: 264–267.
18. Wekhof A., Trompeter F.-J., Franken O. Pulsed UV Disintegration (PUVD): a new sterilization mechanism for packing and broad medical-hospital application. *The First International Conference on Ultraviolet Technologies, June 14–16, 2001, Washington D.C. USA*. 2001. p. 1–15.
19. Jun S., Irudayaraj J., Demirci A., Geiser D. Pulsed UV-light treatment of corn meal for inactivation of *Aspergillus niger*. *Journal of Food Science and Technology*. 2003;38: 883–888.
20. Takeshita K., Shibato J., Sameshima T., Fukunaga S., Isobe S., Arihara K., Itoh M. Damage of yeast cells induced by pulsed light irradiation. *International Journal of Food Microbiology*. 2003;85: 151–158.
21. Krishnamurthy K., Demirci A., Irudayaraj J. Inactivation of *Staphylococcus aureus* by pulsed UV-light sterilization. *Journal of Food Protection*. 2004;67(5): 1027–1030.
22. Gomez-Lopez V. M., Devlieghere F., Bonduelle V., Debevere J. Intense light pulses decontamination of minimally processed vegetables and their shelf-life. *International Journal of Food Microbiology*. 2005;103: 79–89.
23. Kaack K., Lyager B. Treatment of slices from carrot (*Daucus carota*) using high intensity white pulsed light. *European Food Research and Technology*. 2007; 224: 561–566.
24. Gómez-López V.M., Ragaert P., Debevere J., Devlieghere F. Pulsed light for food decontamination: a review. *Trends Food Science and Technology*. 2007;18: 464–473.
25. Elmnasser N., Guillou S., Leroi F., Orange N., Bakhrouf A., Federighi M. Pulsed-light system as a novel food decontamination technology: a review. *Canadian Journal of Microbiology*. 2007;53: 813–821.
26. Bohrerova Z., Shemer H., Lantis R., Impellitteri Ch.A., Linden K.G. Comparative disinfection efficiency of pulsed and continuous-wave UV irradiation technologies. *Water Research*. 2008;42: 2975–2982.
27. Fernández M., Manzano S., de la Hoz L., Ordóñez J. A., Hierro E. Pulsed light inactivation of *Listeria monocytogenes* through different plastic films. *Foodborne Pathogens and Disease*. 2009;6: 1265–1267.
28. Oms-Oliu G., Martín-Belloso O., Soliva-Fortuny R. Pulsed light treatments for food preservation. A review. *Food and Bioprocess Technology*. 2010;3: 13–23.
29. Choi M. S., Cheigh C. I., Jeong E. A., Shin J. K., Chung M. S. Nonthermal sterilization of *Listeria monocytogenes* in infant foods by intense pulsed light treatment. *Journal of Food Engineering*. 2010;97: 504–509.
30. Cheigh Ch.-I., Park M.-H., Chung M.-S., Shin J.-K., Park Y.-S. Comparison of intense pulsed light- and ultraviolet (UVC)-induced cell damage in *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157: H7. *Food Control*. 2012;25(2): 654–659.
31. Mandal R., Mohammadi X., Wiktor A., Singh A., Singh A.P., Applications of Pulsed Light Decontamination Technology in Food Processing: An Overview. *Appl. Sci*. 2020;10: 3606; doi:10.3390/app1010360
32. В.П. Архипов, А.С. Камруков, Н.П. Козлов, Е.Д. Короп, С.Г. Шашковский, М.С. Яловик. Новая ультрафиолетовая технология глубокой очистки и обеззараживания воды. // Ж. Конверсия. - 1996. - № 6. С. 46–50.
33. Козлов Н.П. (ред.) [и др.] Плазменная техника и плазменные технологии: сб. науч. трудов МГТУ им. Н.Э. Баумана. М.: НИЦ Инженер. 2003. 196 с.
34. Камруков А.С., Козлов Н.П., Шашковский С.Г., Яловик М.С. Новые биоцидные ультрафиолетовые технологии и аппараты для санитарии, микробиологии и медицины. *Безопасность жизнедеятельности*. 2003;1: 32–40.
35. Архипов В.П., Базиков В.И., Камруков А.С., Козлов Н.П., Кузнецов Э.В., Пенто В.Б., Харитонов В.Д., Шашковский С.Г., Яловик М.С. Новая технология обеззараживания сыпучих пищевых продуктов. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2005;9: 27–30.
36. Камруков А.С., Козлов Н.П., Селиверстов А.Ф., Шашковский С.Г., Яловик М.С. Фотохимическая очистка воды широкополосным импульсным УФ излучением. *Безопасность в техносфере*. 2006;1: 38–44. 2: 21–26. 3: 17–27
12. Dunn J., Bushnell A., Ott T., Clark W. Pulsed white light food processing. *Cereal Foods World*. 1997;42(7): 510–515.
13. Rowan J. N., MacGregor J. S., Anderson J.G., Fouracre R. A., McIlvaney L., Fairish O. Pulsed-Light Inactivation of Food-Related Microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology*. 1999;65(3): 1312–1315.
14. McDonald K., Curry R., Clevenger T., Brazos B., Unklesbay K., Eise Stark A., Baker S., Golden J., Morgan R. A comparison of pulsed vs. continuous ultraviolet light sources for de-contamination of surfaces. *Pulsed Power Conference, Digest of Technical Papers. 12th IEEE International*. 1999;2: 1484–1488. DOI:10.1109/PPC.1999.823812
15. Bintsis T., Litopoulou-Tzanetaki E., Robinson R. K. Existing and potential application of ultraviolet light in the food industry — a critical review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2000;80: 637–645.
16. Liltved H., Landfald B. Effects of high intensity light on ultraviolet-irradiated and nonirradiated fish pathogenic bacteria. *Water Research*. 2000;34(2): 481–486.
17. Wekhof A. Disinfection with flash lamps. *PDA J. of Pharmaceutical Science and Technology*. 2000;54: 264–267.
18. Wekhof A., Trompeter F.-J., Franken O. Pulsed UV Disintegration (PUVD): a new sterilization mechanism for packing and broad medical-hospital application. *The First International Conference on Ultraviolet Technologies, June 14–16, 2001, Washington D.C. USA*. 2001. p. 1–15.
19. Jun S., Irudayaraj J., Demirci A., Geiser D. Pulsed UV-light treatment of corn meal for inactivation of *Aspergillus niger*. *Journal of Food Science and Technology*. 2003;38: 883–888.
20. Takeshita K., Shibato J., Sameshima T., Fukunaga S., Isobe S., Arihara K., Itoh M. Damage of yeast cells induced by pulsed light irradiation. *International Journal of Food Microbiology*. 2003;85: 151–158.
21. Krishnamurthy K., Demirci A., Irudayaraj J. Inactivation of *Staphylococcus aureus* by pulsed UV-light sterilization. *Journal of Food Protection*. 2004;67(5): 1027–1030.
22. Gomez-Lopez V. M., Devlieghere F., Bonduelle V., Debevere J. Intense light pulses decontamination of minimally processed vegetables and their shelf-life. *International Journal of Food Microbiology*. 2005;103: 79–89.
23. Kaack K., Lyager B. Treatment of slices from carrot (*Daucus carota*) using high intensity white pulsed light. *European Food Research and Technology*. 2007; 224: 561–566.
24. Gómez-López V.M., Ragaert P., Debevere J., Devlieghere F. Pulsed light for food decontamination: a review. *Trends Food Science and Technology*. 2007;18: 464–473.
25. Elmnasser N., Guillou S., Leroi F., Orange N., Bakhrouf A., Federighi M. Pulsed-light system as a novel food decontamination technology: a review. *Canadian Journal of Microbiology*. 2007;53: 813–821.
26. Bohrerova Z., Shemer H., Lantis R., Impellitteri Ch.A., Linden K.G. Comparative disinfection efficiency of pulsed and continuous-wave UV irradiation technologies. *Water Research*. 2008;42: 2975–2982.
27. Fernández M., Manzano S., de la Hoz L., Ordóñez J. A., Hierro E. Pulsed light inactivation of *Listeria monocytogenes* through different plastic films. *Foodborne Pathogens and Disease*. 2009;6: 1265–1267.
28. Oms-Oliu G., Martín-Belloso O., Soliva-Fortuny R. Pulsed light treatments for food preservation. A review. *Food and Bioprocess Technology*. 2010;3: 13–23.
29. Choi M. S., Cheigh C. I., Jeong E. A., Shin J. K., Chung M. S. Nonthermal sterilization of *Listeria monocytogenes* in infant foods by intense pulsed light treatment. *Journal of Food Engineering*. 2010;97: 504–509.
30. Cheigh Ch.-I., Park M.-H., Chung M.-S., Shin J.-K., Park Y.-S. Comparison of intense pulsed light- and ultraviolet (UVC)-induced cell damage in *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157: H7. *Food Control*. 2012;25(2): 654–659.
31. Mandal R., Mohammadi X., Wiktor A., Singh A., Singh A.P., Applications of Pulsed Light Decontamination Technology in Food Processing: An Overview. *Appl. Sci*. 2020;10: 3606; doi:10.3390/app1010360
32. Arkhipov V.P., Kamrukov A.S., Kozlov N.P., Korop E.D., Shashkovskiy S.G., Yalovik M.S.. New ultraviolet technology for deep purification and disinfection of water. // Zh. Conversion.- 1996.- No. 6. S. 46–50. (In Russian)
33. Kozlov N.P. (ed) [et al.] Plasma technique and plasma technologies: Sat. scientific Proceedings of MSTU name N.E. Bauman. Moscow.: Research Center Engineer. 2003. 196 p. (In Russian)
34. Kamrukov A.S., Kozlov N.P., Shashkovskij S.G., Yalovik M.S. New biocidal ultraviolet technologies and devices for sanitation, microbiology and medicine. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. 2003;1: 32 — 40 (In Russian.)
35. Arhipov V.P., Bazikov V.I., Kamrukov A.S., Kozlov N.P., Kuznecov E.H.V., Pento V.B., Kharitonov V.D., Shashkovskij S.G., Yalovik M.S. New technology of disinfection of bulk food products. Storage and processing of agricultural raw materials. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*. 2005;9: 27 — 30 (In Russian.)
36. Kamrukov A.S., Kozlov N.P., Seliverstov A.F., Shashkovskij S.G., Yalovik M.S. Photochemical water purification by broadband pulsed UV radiation. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. 2006;1: 38 — 44. 2: 21 -26. 3: 17 — 27 (In Russian.)

37. Камруков А.С., Козлов Н.П., Шашковский С.Г., Яловик М.С. Высокоинтенсивные плазменно-оптические технологии для решения актуальных экологических и медико-биологических задач. Безопасность в техносфере. 2009;3: 31 — 38.
38. Шестопалов Н.В., Акимкин В.Г., Федорова Л.С., Скопин А.Ю., Гольдштейн Я.А., Голубцов А.А., Киреев С.Г., Поликарпов Н.А., Шашковский С.Г. Исследование бактерицидной эффективности обеззараживания воздуха и открытых поверхностей импульсным ультрафиолетовым излучением сплошного спектра. Медицинский алфавит. 2017;19(2): 6 — 9.
39. Зверев А.Ю., Борисевич С. В., Чепуренков Н. Я., Масыкин Д. Н., Ковальчук Е. А., Быков В. А., Труфанова В. В., Тутельян А. В., Тиванова Е. В., Квасова О. А., Акимкин В. Г. Вирулицидная активность импульсного ультрафиолетового излучения сплошного спектра в отношении коронавируса SARS-CoV-2. Медицинский алфавит. 2020;18(1): 55-58.
40. Официальный сайт производителя импульсных ультрафиолетовых установок для обеззараживания воздуха ООО «НПП Мелитта» — Режим доступа: <https://melitta-uv.ru/> (дата обращения 28.01.2022).
41. Титов М.А., Караулов А.К., Шевцов А.А., Бардина Н.С., Гуленкин В.М., Дудников С.А. Методические рекомендации по оценке безопасности на свиноводческих предприятиях в Российской Федерации: утверждена директором «ВНИИЗЖ». Владимир: Федеральное государственное учреждение «Федеральный центр охраны здоровья животных». 2010. 52 с.
42. Baek, S. (ed) [et al.] Effects of HACCP system implementation on domestic livestock product plants. Korean journal for food science of animal resources. V. 32. 2012. 168-173p. DOI: <http://doi.org/10.5851/kosfa.2012.32.2.168>.
43. Kim, J. (ed) [et al.] Perception of the HACCP system operators on livestock product manufacturers. Journal of animal science and technology. V. 56. 2014. Iss. 19. DOI: <http://doi.org/10.1186/2055-0391-56-19>.
44. ГОСТ Р 51705.1-2001 Система качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования. Введ. 2001. — 07.01. Москва: Госстандарт России ИПК Издательство стандартов. 2004 — 15 с. Режим доступа: http://rpn.79.rospotrebnadzor.ru/sites/default/files/132618_453_sistema_kachestva.pdf (Дата обращения 28.01.2022).

ОБ АВТОРАХ:

Георгий Степанович Аксаян,
главный эксперт по развитию отрасли
Национальный Союз свиноводов, 5, Скатертный переулок Москва, 121069 Российская Федерация
E-mail: nss_info@mail.ru

Валерий Владимирович Багров,
кандидат технических наук, заместитель директора
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), д. 5, 2-я Бауманская ул., 105005, Москва, Российская Федерация,
<https://orcid.org/0000-0001-9059-6984>

Александр Семенович Камруков,
кандидат технических наук, доцент, заведующий отделом
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), д. 5, 2-я Бауманская ул., 105005, Москва, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0003-0584-2234>

Владимир Иванович Крылов,
кандидат технических наук, директор
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), д. 5, 2-я Бауманская ул., 105005, Москва, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0002-3880-4827>

Владислав Андреевич Овчеренко,
генеральный директор
ООО «Уфимский селекционно-гибридный центр», д. 9, Ул. Парковая, Уфа, 450083, Российская Федерация,
e-mail: ovcherenko@ufasgc.ru

Антон Владиславович Овчеренко,
специалист по биоинженерии и биоинформатике
ООО «Уфимский селекционно-гибридный центр», д. 9, Ул. Парковая, Уфа, 450083, Российская Федерация,
e-mail: ovcherenko@ufasgc.ru

Валерий Николаевич Сергеев,
доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, президент «Некоммерческое Партнерство «Академия продовольственной безопасности», 35, пр-кт Кутузовский, Москва, 121165, Российская Федерация
e-mail: svn1412@mail.ru

37. Kamrukov A.S., Kozlov N.P., Shashkovskij S.G., Yalovik M.S. High-intensity plasma-optical technologies for solving urgent environmental and biomedical problems. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. 2009;3: 31 — 38 (In Russian.)
38. Shestopalov N.V., Akimkin V.G., Fedorova L.S., Skopin A.YU., Gol'dshtejn YA.A., Golubcov A.A., Kireev S.G., Polikarpov N.A., Shashkovskij S.G. Investigation of bactericidal efficiency of disinfection of air and open surfaces by pulsed ultraviolet radiation of the continuous spectrum. *Medicinskij alfavit*. 2017;19(2): 6 — 9 (In Russian.)
39. Zverev A.YU., Borisevich S. V., Chepurenkov N. YA., Masyakin D. N., Koval'chuk E. A., Bykov V. A., Trufanova V. V., Tutel'yan A. V., Tivanova E. V., Kvasova O. A., Akimkin V. G. Virucidal activity of pulsed ultraviolet radiation of the continuous spectrum in relation to the SARS-CoV-2 coronavirus. *Medicinskij alfavit*. 2020;18(1): 55 — 58 (In Russian.)
40. Official website of the manufacturer of pulsed ultraviolet devices for air disinfection LLC NPP Melitta — Access mode: <https://melitta-uv.ru/> (accessed 28.01.2022).
41. Titov M.A., Karaulov A.K., Shevcov A.A., Bardina N.S., Gulenkin V.M., Dudnikov S.A. Methodological recommendations for safety assessment at pig breeding enterprises in the Russian Federation: approved by the Director «VNIIZZH». *Vladimir: Federal'noe gosudarstvennoe uchrezhdenie «Federal'nyj centr okhrany zdorov'ya zhivotnykh»*. 2010. 52 p. (In Russian.)
42. Baek, S. (ed) [et al.] Effects of HACCP system implementation on domestic livestock product plants. Korean journal for food science of animal resources. V. 32. 2012. 168-173p. DOI: <http://doi.org/10.5851/kosfa.2012.32.2.168>.
43. Kim, J. (ed) [et al.] Perception of the HACCP system operators on livestock product manufacturers. Journal of animal science and technology. V. 56. 2014. Iss. 19. DOI: <http://doi.org/10.1186/2055-0391-56-19>.
44. ГОСТ Р 51705.1-2001. Quality system. Food quality management based on HACCP principles. General requirements. Vved. 2001. — 07.01. Moskva: Gosstandart Rossii IPK Izdatel'stvo standartov. 2004. 15 p. Available from: http://rpn.79.rospotrebnadzor.ru/sites/default/files/132618_453_sistema_kachestva.pdf [Accessed January 28, 2022] (in Russian.).

ABOUT THE AUTHORS:

Grigory Stepanovich Axanyan,
Chief Expert in Sector Development
National Union of Swine Breeders. 5, Skatertnyy line, 121069, Moscow, Russian Federation
E-mail: nss_info@mail.ru

Valery Vladimirovich Bagrov,
Candidate of Technical Sciences, Deputy Director
Research Institute of Power Engineering Moscow Bauman State Technical University, 5, 2-nd Baumanskaya str., Moscow, 105005, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0001-9059-6984>

Alexander Semevovich Kamrukov,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department Research Institute of Power Engineering
Moscow Bauman State Technical University, 5, 2-nd Baumanskaya str., Moscow, 105005, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0003-0584-2234>

Vladimir Ivanovich Krylov,
Candidate of Technical Sciences, Director of the Research Institute of Power Engineering
Moscow Bauman State Technical University, Moscow Bauman State Technical University, 5, 2-nd Baumanskaya str., Moscow, 105005, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0002-3880-4827>

Vladislav Andreevich Ovcherenko,
General Manager
Limited Liability Company Ufa Breeding and Hybrid Center LLC, 9, Parkovaya str., Ufa 450083, Russian Federation,
e-mail: ovcherenko@ufasgc.ru

Anton Vladislavovich Ovcherenko,
specialist in bioengineering and bioinformatics
Limited Liability Company Ufa Breeding and Hybrid Center LLC, 9, Parkovaya str., Ufa 450083, Russian Federation,
e-mail: ovcherenko@ufasgc.ru

Valery Nikolaevich Sergeyev,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, President, Academy of Food Safety, 35 Kutuzovsky Ave., Moscow, 121165, Moscow, Russian Federation
e-mail: svn1412@mail.ru