

Биомедицинские приложения современных озоновых технологий

Аннотация

Представлены обзор состояния и развития технологий озонотерапии в современных биомедицинских приложениях, соответствующей аппаратуры и оборудования на основе материалов докладов на XV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в экологии и медицине – ФРЭМЭ'2022». Даны описания и технические характеристики генераторов озона, используемых в различных приложениях, – от бытового до клинического применения. Приведены данные сравнительного анализа основных параметров оборудования для озонотерапии отечественного и иностранного производства, а также перспективы перспективных инновационных разработок.

Введение

Бактерицидные свойства озона как эффективного природного окислителя были известны и нашли свое применение для обработки операционных еще в XIX веке. Затем, уже в 1860 году, в Монако была построена и введена в эксплуатацию станция озонной водоочистки. Дальнейшее использование озона в медицинских приложениях связано с именем Николы Тесла, который в 1896 году изобрел и запатентовал первый медицинский генератор озона, а через 10 лет начал промышленный выпуск этого оборудования [1].

Современные озонаторы, выпускаемые различными фирмами в Нижнем Новгороде, Кирове, Перми, Москве, Санкт-Петербурге, Сарове, Новосибирске, Казани, Арзамасе и других городах, открывают широкие возможности реализации прогрессивных озоновых технологий в самом широком спектре применений от бытовых до промышленных масштабов не только в водоподготовке, но и в медицине, сельском хозяйстве, на транспорте и пр. [2]. В докладах ряда авторов на XV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в экологии и медицине – ФРЭМЭ'2022» была представлена и проанализирована актуальная информация о наличии и основных технических характеристиках современного оборудования для генерации медицинского и технического озона и перспективах их использования в различных областях. **Целью настоящей статьи** является обобщение представленных материалов и разработок, направленных на дальнейшее расширение и повышение эффективности использования озоновых технологий в различных биомедицинских приложениях.

Материалы и методы

В условиях новых волн пандемии COVID-19 и постоянных мутаций этого и других опасных вирусов сильное бактерицидное действие озона особенно востребовано для эффективной очистки воздуха, а также для обеззараживания любых поверхностей, в первую очередь в различных помещениях общего пользования, на транспорте, в медицинских учреждениях, учебных заведениях, а также в производственных помещениях самого разного назначения. При этом важной особенностью такого использования озона является возможность эффективной нейтрализации самых разных бактерий, вирусов, грибков даже при непродолжительном воздействии озono-воздушных смесей невысоких концентраций [1], [3], [4]. В качестве дополнительного «бонуса» при таком воздействии обеспечиваются эффективное дезодорирование, а также отпугивание грызунов, что особенно ценно в условиях бытовых применений. В качестве примера такой разработки, которая может быть рекомендована для использования как в домашних условиях, так и в промышленных применениях, может рассматриваться уникальное отечественное оборудование – озонная пушка, которая производится на базе ООО «ЛЕПСЕТРЕЙД» (г. Киров). Это прямоточное устройство – цилиндр переменного сечения, в который встроенный вентилятор засасывает воздух. Газовый разряд в оригинальном [5] трубчатом генераторе озона позволяет получать в режиме максимальной производительности до

20 г озона в час. Озонная пушка имеет небольшие габариты (длина – 80 см) и массу (7 кг), что делает ее использование удобным даже в условиях бытового применения. При этом санитарная обработка занимает в среднем до 30 мин (в зависимости от объема помещения). После такого озонирования помещение следует просто проветрить.

Широта спектра бактерицидного действия озона позволяет уничтожать самые разнообразные патогены [1], [3], [4] даже при воздействии на споровые формы, а его экономическая эффективность является еще одним существенным преимуществом [6]-[9].

Озонаторы для повседневного бытового применения выпускаются в настоящее время многими производителями. Их основное предназначение – озонирование воздуха в помещении до концентраций, не превышающих предельно допустимые (ПДК). Некоторые из них оснащаются микропроцессорными блоками, позволяющими регулировать производительность, устанавливая необходимую концентрацию озона и продолжительность работы в зависимости от площади помещения и степени загрязнения воздуха. Такие приборы выполняют и функцию дезодорирования, а также нейтрализуют положительные аэроионы с одновременным образованием отрицательных аэроионов.

Другое применение озоновых технологий в бытовых условиях – это в первую очередь озонирование воды, которую после такой обработки можно применять как в гигиенических целях [2]-[4] – для мытья рук, посуды, столовых приборов, обработки мясных и рыбных продуктов перед приготовлением, овощей и фруктов перед употреблением, так и в медицинских целях. Озонированная вода рекомендуется для питья при гастритах и других заболеваниях слизистых оболочек желудочно-кишечного тракта. Она используется для вагинальных спринцеваний, промываний мочевого пузыря, уретры и пр., а также может применяться для обработки ран и других повреждений мягких тканей.

Эффективно использование озонированной воды в стоматологии, в частности для таких применений, как полоскание полости рта при пародонтозе, стоматите, молочнице и др., а также для дезинфекции слизистой оболочки и полости зуба. Рекомендуют и использование озона в газообразном виде для струйной обработки (очистки) поверхности зуба и зубных каналов в виде струи в процессе лечения и установки зубных протезов.

Процесс приготовления озонированной воды в бытовых условиях безопасен и прост. Озоно-кислородная смесь с концентрацией 10...30 мг/л вырабатывается генератором озона при подаче на его вход 95%-ного кислорода от концентратора кислорода. Смесь пропускается через воду в пластиковой емкости. Избыточный озон утилизируется деструктором. Озонированную воду рекомендуется использовать непосредственно после приготовления, так как концентрация озона быстро уменьшается и через несколько часов ее бактерицидные свойства утрачиваются. Вместе с тем сама жидкость еще некоторое время остается практически свободной от патогенов. Такой же набор оборудования может быть использован и для получения в бытовых условиях озонированного масла. Эту

субстанцию рекомендуется использовать для санобработки рваных поверхностей, садин, потертостей, а также для нанесения на слизистые [4]. Процедура приготовления аналогична получению озонированной воды, но более продолжительна. При этом срок годности полученного озонированного масла при его хранении в холодильнике составляет около года.

Питье озонированной воды, согласно последним документам Минздрава РФ, внесено в перечень номенклатуры медицинских услуг под цифровым индексом А20.30.024.001. В целом медицинские применения озонных технологий регламентируются приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 05.03.2020 г. № 148 н. В соответствии с этим документом раздел А номенклатуры медицинских услуг содержит подраздел А20.30.024 Озонотерапия, включающий в себя еще 7 пунктов: А20.30.024.002 Наружное и полостное применение озонированного физиологического раствора, А20.30.024.003 Наружное применение газовой озono-кислородной смеси, А20.30.024.004 Подкожное введение газовой озono-кислородной смеси, А20.30.024.005 Ректальные инсуффляции газовой озono-кислородной смеси, А20.30.024.006 Внутривенное капельное введение озонированного физиологического раствора, А20.30.024.007 Малая аутогеомоозонотерапия, А20.30.024.008 Озонорефлексотерапия. Каждая из этих процедур имеет свои медицинские регламенты, в основе которых лежат научные результаты лабораторных и клинических исследований врачей и научных работников ведущих коллективов медицинских центров Российской Федерации. Большую работу по координации этих работ, систематизации и популяризации их результатов проводит Ассоциация российских озонотерапевтов (АРО). Ассоциация регулярно проводит международные научно-практические конференции «Озон, активные формы кислорода, оксид азота, водород и высокоинтенсивные физические факторы в биологии и медицине», материалы которых публикуются в журнале АРО «Биорадикалы и антиоксиданты» [9], а также в изданиях Европейской и Испанской ассоциаций озонотерапевтов «Ozone Therapy Global Journal» и «Revista Española de Ozonoterapia» [7], [10].

Для обеспечения проведения различных процедур озонотерапии созданы разнообразные озонотерапевтические аппараты, среди которых, в первую очередь следует назвать такие разработки, как «УОТА» (г. Москва), «МЕДОЗОНС-БЬЮТИ», «Медозонс-БМ», «АОТ-Н-01-Арз-01» (г. Арзамас) с высокими характеристиками, соответствующими лучшим мировым аналогам. Следует особо отметить линейку озонаторов «Озон-М-5», «Озон-М-5-2», «Озон-М-50», «А-с-ГОКС-5-01-ОЗОН» и «А-с-ГОКС-5-02-ОЗОН», разработанных профессором Вятского государственного университета В.И. Пантелеевым, который более 40 лет назад создал первый отечественный медицинский синтезатор озона. Все эти аппараты доведены до серийного производства на ОАО «Электромашиностроительный завод «Лепсе» (г. Киров) по рекомендации Минздрава РФ, аппарат «Озон-М-50» получил сертификат Госстандарта РФ для использования в качестве средства измерения. Модель А-с-ГОКСф-5-05-ОЗОН с 2010 года имеет европейский сертификат [2].

В обстоятельном аналитическом обзоре [11], представленном на конференции «ФРЭМЭ'2022», проведено сравнение (табл. 1) основных параметров и характеристик двух отечественных генераторов озона (АОТ-Н-01-Арз-01 и А-с-ГОКСф-5-05-ОЗОН) и двух аппаратов иностранного

производства («Medozon Compact», Германия, и «OzoneDTA J-500», Китай). Сравнение показывает, что отечественные аппараты не только не уступают иностранным аналогам, но и по ряду параметров их превосходят. Все устройства имеют жидкокристаллический алфавитно-цифровой дисплей и современную пленочную клавиатуру (у «Medozon Compact» – сенсорная). Аппараты «А-с-ГОКСф-5-05-ОЗОН» и «Medozon Compact» укомплектованы встроенным измерителем концентрации озона в производимой озono-кислородной смеси. Номинальный срок службы генераторов – 5 лет (только у «Medozon Compact» – 10 лет).

Отдельного внимания заслуживают автономные синтезаторы медицинского озона в портативном исполнении, предназначенные для использования в полевых и боевых условиях, а также в чрезвычайных ситуациях. В качестве примеров можно привести аппараты «Озон-М-3» и «ОЗОН УМ-80». Они имеют металлический корпус, оснащены автономным встроенным кислородным баллоном. По результатам полевых испытаний, проведенных Военно-медицинским институтом Федеральной пограничной службы, разработаны методические рекомендации «Озонотерапия боевой хирургической травмы», утвержденные в 2002 году начальником Военно-медицинского управления ФПС России. Аналогичное оборудование можно применять в полевых условиях при работе ветеринарной службы на сельскохозяйственных предприятиях. Соответствующие методические рекомендации по применению озона для лечения животных были разработаны на основе работ ученых и специалистов Кировской сельскохозяйственной академии с использованием медицинских синтезаторов озона, разработанных в ВятГУ.

Применение озонных технологий для осуществления стерилизации биообъектов и изделий медицинского назначения находит все более широкое применение. В условиях пандемии COVID-19, распространения других современных опасных вирусных инфекций это направление приобретает особую важность [2], [3], [8], [9], [12]. Такую продукцию, например, в течение ряда лет выпускает отечественная фирма «Орион-Си» [6], [12]. Это, в частности, низкотемпературные озонные стерилизаторы «Орион» различных моделей (СК-16, СК-36, СК-40, СК-85, СК-250) с объемом стерилизационных камер от 16 до 250 л, которые могут использоваться для стерилизации хирургических, эндоскопических и других медицинских инструментов, в том числе содержащих оптические части, а также термостойчивых предметов и изделий, катетеров, эндопротезов и пр. Продолжительность процесса стерилизации составляет от 30 до 70 мин в зависимости от объема камеры. Энергопотребление установок составляет всего 70 Вт.

При этом рабочие режимы данного оборудования для озонной стерилизации, как и аналогичных аппаратов других фирм, задаются на основе имеющегося предварительного опыта их применения. Причем, поскольку в каждом конкретном случае применения стерилизации подвергаются разные объекты, с различной исходной контаминацией, в различных условиях освещенности, температуры, влажности и пр., параметры воздействия (концентрация озона, продолжительность обработки) должны задаваться с существенным запасом для гарантии качества стерилизации. Это приводит к дополнительным временным и экономическим затратам.

В связи с этим представляет интерес новое устройство для озонной стерилизации, позволяющее автоматически установ-

Таблица 1

Сравнение основных технических характеристик озонных генераторов отечественного и иностранного производства [11]

Характеристики	Марка озонного генератора			
	АОТ-Н-01-Арз-01	А-с-ГОКСф-5-05-ОЗОН	OzoneDTA J-500	Medozon Compact
Концентрация озона на выходе, мг/л	Max 10, min 0,05	Max 30, min 0,2	Max 0,2, min 0,2	Max 80, min 2,0
Производительность озono-кислородной смеси на выходе, л	1,0; 0,5; 0,25	0,2...1,0	0,5	1,0
Максимальное время работы, мин	60	50	10	20

ливать необходимый режим обработки для конкретной ситуации [13], [14]. В приборе предусмотрена обратная связь, позволяющая отслеживать реальные затраты озона в процессе воздействия на патогены в рабочей камере, в виде блока сравнения концентрации озона на входе и выходе. Блок автоматически вырабатывает сигнал на отключение генератора озона по завершении процесса стерилизации, что способствует оптимизации временных и энергетических затрат.

Заключение

Эффективное использование озонных технологий в различных биомедицинских применениях, выделенных приказом Минздрава РФ в самостоятельный подраздел номенклатуры медицинских услуг, обеспечено в настоящее время современными аппаратами отечественного производства, не уступающими по основным параметрам и характеристикам зарубежной технике. Генераторы озона применяются для осуществления гигиенических процедур при санитарной обработке бытовых и производственных помещений, транспорта, лечебных учреждений, кожных покровов и продуктов питания, что важно для предотвращения распространения COVID-19 и других инфекций. Новые разработки расширяют возможности решения актуальных биомедицинских и социально-экономических задач.

Публикация подготовлена в рамках государственного задания 12202200100-2 и при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина».

Список литературы:

1. Пантелеев В.И., Розанов В.В., Матвейчук И.В., Лекишвили М.В., Сыроев Н.Н., Шутеев С.А., Альков С.В., Андреева Т.М. Медицинские озонные технологии. Новые задачи, возможности, оборудование // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 2. С. 3-11.
2. Пантелеев И.В., Розанов В.В., Матвейчук И.В. Озонные технологии: медико-биологические приложения в условиях современных вызовов // Русский инженер. 2021. № 3. С. 43-46.
3. Розанов В.В., Матвейчук И.В., Пантелеев И.В. Озонные технологии в современных биомедицинских приложениях / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ’2022». Владимир-Суздаль. Россия. – Александров: ООО «Графика», 2022. С. 488-492.
4. Масленников О.В., Конторицкова К.Н., Шахов Б.Е. Руководство по озонотерапии. – Н. Новгород: Изд-во «Кириллица», 2018. 346 с.
5. Пантелеев В.И., Кротов Ю.В. Трубчатый озонатор / Патент РФ № 2326812 от 24.11.2006.
6. Сибельдина Л.А. Стерилизация озоном // Медицина и здоровье. 2007. № 11 (19). С. 24-25.
7. Rozanov V. V., Matveychuk I. V., Panteleev I. V., Chernyaev A. P. Ozon as effective component of combined technology of bone sterilization // Revista Española de Ozonoterapia. 2018. Vol. 8. № 2. Suppl. 1. PP. 74-75.
8. Rowen R. Ozone and oxidation therapies as a solution to the emerging crisis in infectious disease management: A review of current knowledge and experience // Medical Gas Researches. 2019. Vol. 9 (4). PP. 232-237.
9. Федорова Т.А., Бакуридзе Э.М., Пырегов А.В., Гаврилова Т.Ю. и др. Возможности применения системной озонотерапии у пациентов с COVID-19 инфекцией // Биорадикалы и антиоксиданты. 2021. Т. 8. № 2. С. 8-24.
10. Rozanov V. V., Matveychuk I. V., Panteleev I. V. New approaches to the modernization of ozone generators to optimize the technology of bioimplants sterilization // Ozone Therapy Global Journal. 2022. № 12. Suppl. LIBRO DE ABSTRACTS DEL XII RUSSIAN SCIENTIFIC CONFERENCE IN OZONE-THERAPY. Book of abstracts. PP. 58-59.
11. Афанасов М.А., Затравкина Е.И. Состояние и перспективы развития озонаторов медицинского назначения / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ’2022». Владимир-Суздаль, Россия. – Александров: ООО «Графика», 2022. С. 338-341.
12. Розанов В.В., Матвейчук И.В. Современное состояние и перспективные инновационные направления развития способов стерилизации биоимплантатов // Альманах клинической медицины. 2019. № 47 (7). С. 634-646.
13. Пантелеев И.В., Розанов В.В., Матвейчук И.В., Бахтин Н.А., Журнаков Е.А., Сидельников Н.И. Установка для стерилизации биоматериалов / Патент РФ № 180532 от 15.06.2018 г.
14. Розанов В.В., Матвейчук И.В., Пантелеев И.В. Новые подходы к модернизации генераторов озона для оптимизации технологии стерилизации биоимплантатов // Биорадикалы и антиоксиданты. 2021. Т. 8. № 2. С. 124-126.

*Владимир Викторович Розанов,
д-р биолог. наук, профессор,
ведущ. научный сотрудник,
ФГБОУ ВО «Московский государственный
университет им. М.В. Ломоносова»,
гл. научный сотрудник,
ФГБНУ «Всероссийский научно-
исследовательский институт лекарственных
и ароматических растений»,
Игорь Васильевич Матвейчук,
д-р биолог. наук, профессор,
гл. научный сотрудник,
ФГБНУ «Всероссийский научно-
исследовательский институт лекарственных
и ароматических растений»,
г. Москва,
Илья Владимирович Пантелеев,
директор,
ООО «ВИП-ОЗОН»,
г. Киров,
e-mail: vrozanov@mail.ru*

* * * * *