

СВЧ безэлектродный разряд в установке комбинированного бактерицидного воздействия (СВЧ + УФ + озон) на микроорганизмы в пищевых продуктах

М.А. Завьялов^{1,2}, В.А. Кухто², М.Т. Левшенко²

¹ВЭИ – филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ»
111250 Москва, Россия

²ВНИИТеК-филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем» РАН
142700 Видное Московская область, Россия
e-mail: lev-mika@yandex.ru; тел.: 8-915-093-19-17

DOI 10.31554/978-5-7925-0524-7-2018-189-194

На экспериментальной установке, генерирующей и использующей одновременно СВЧ- и оптическое излучение в УФ диапазоне и озон (O_3) проведены исследования бактерицидной обработки пищевых продуктов. Показана эффективность использования комплексного воздействия СВЧ – УФ – O_3 на антисептирование овощных порошков, сухого молока и других продуктов.

Введение

В настоящее время радиационные ионизирующие технологии, а также электромагнитные излучения ультрафиолетового и СВЧ-диапазонов широко применяются для обработки сельскохозяйственных и пищевых продуктов [1]. В пищевой промышленности применение ионизирующих и неионизирующих излучений позволяет сократить потери и увеличить сроки хранения пищевых продуктов, снизить использование пищевых консервантов. При этом в отличие от тепловой стерилизации не происходит термического разрушения органических соединений и сохраняются органолептические показатели.

В работах [2,3] описаны облучательные установки на базе безэлектродных СВЧ-разрядных ламп, генерирующих бактерицидное УФ - излучение, инициируемое и поддерживаемое энергией электромагнитного поля (СВЧ-накачка), которое создается СВЧ-магнетроном. При этом наряду с УФ-излучением, СВЧ-энергия и образующийся озон (порождаемый УФ-излучением) также являются бактерицидными факторами.

В настоящей работе приведены результаты исследований бактерицидного воздействия СВЧ – УФ - O_3 на объекты бактерицидной обработки.

Методика эксперимента

На рис. 1 приведена схема многофакторного воздействия СВЧ – УФ - O_3 на объект бактерицидной установки.

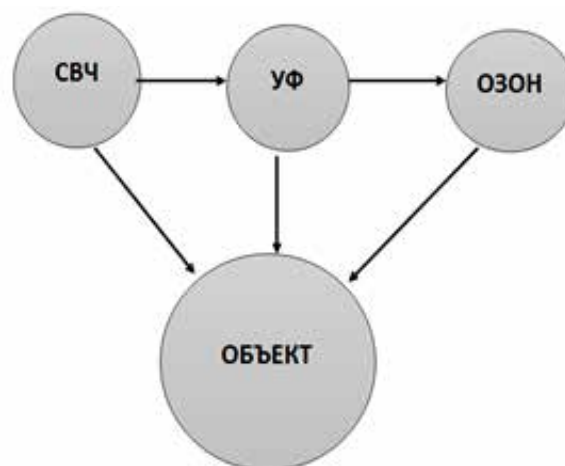


Рис. 1. Комплексное воздействие СВЧ-УФ- O_3 на объект бактерицидной обработки

Назначение установки и её общее построение подробно описаны в работах [2,3]. Конструктивное оформление базировалось на использовании ряда узлов отечественной СВЧ-печи «Электроника СП-18» (ранняя разработка ОАО «Плутон»).

Питание установки осуществляется от сети переменного тока (220 В, 50 Гц) при потребляемой мощности 1,3 кВт. В установке используются печной магнетрон ($f = 2,450$ ГГц) и источник вторичного питания: однополупериодный выпрямитель с удвоением напряжения.

Внешний вид установки представлен на рис. 2. Микроволновая бактерицидная установка содержит основные элементы: рабочую камеру (многовидовый СВЧ - резонатор); магнетрон М-155; блок источника питания; УФ безэлек-

тродные лампы, соответственно, «ведомая» и «ведущая»; кварцевый змеевик; вращающийся стол; корпус; съемный свето- и воздухопрозрачный СВЧ-экран; УФ облучаемый и СВЧ нагреваемый объект, СВЧ-адаптер.

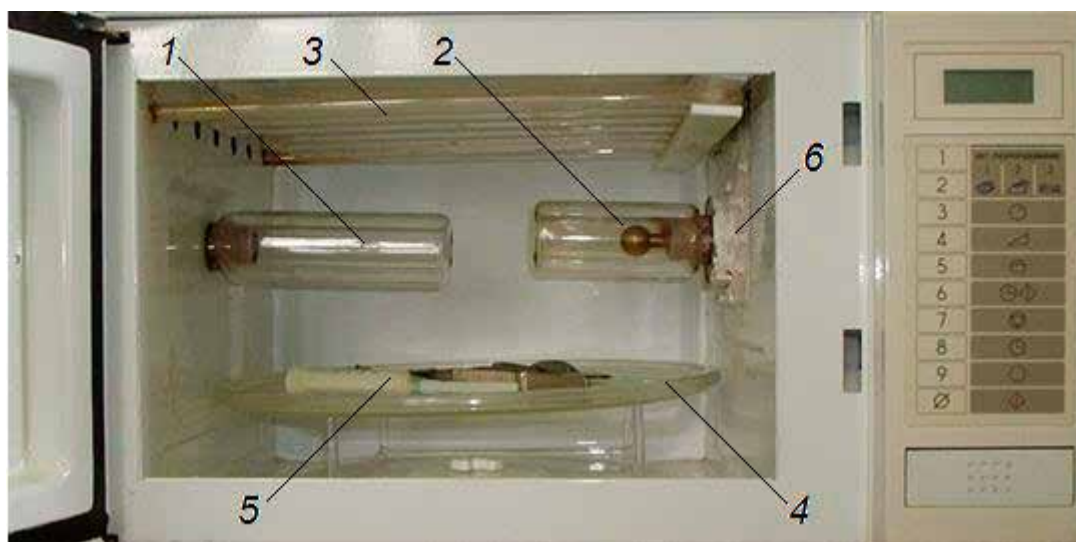


Рис. 2. Внешний вид установки: 1 и 2 - УФ безэлектродные лампы, соответственно, «ведомая» и «ведущая»; 3 - кварцевый змеевик; 4 - вращающийся стол; 5 - УФ облучаемый и СВЧ нагреваемый объект, 6 - СВЧ-адаптер

В бактерицидной установке источником УФ - излучения служат две (либо одна) съемные безэлектродные аргоно-ртутные СВЧ газоразрядные лампы 1 и 2, рис. 2. Корпуса коаксиально-цилиндрических безэлектродных ламп выполнены из кварцевого стекла. «Ведомая» 1 – может быть установлена в различных местах камеры [4]. «Ведущая» 2 установлена около излучающей зондовой антенны СВЧ – возбуждителя.

Безэлектродные СВЧ-газоразрядные лампы низкого давления обладают повышенным сроком службы ($> 10^4$ часов) по сравнению с традиционными электродными аргоно-ртутными лампами ($5 \cdot 10^3$ часов) [2, 3].

На поддержание разряда низкого давления в безэлектродных лампах затрачивается около 100 Вт СВЧ-мощности из 850 Вт, генерируемых магнетроном. УФ-излучение имеет «бактерицидную» линию ($\lambda = 253,7$ нм), а излучение на линии $\lambda = 185$ нм является озonoобразующим фактором. Таким образом, доминирующими факторами воздействия на обраба-

тываемые (обеззараживаемые) объекты служит СВЧ - энергия, УФ – оптическое излучение и озон. Количество озона можно изменять введением в камеру кислорода, либо установки в неё сосуда с водой.

Бактерицидное действие УФ – излучения области С (УФ – С) с длинами волн от 200 нм до 280 нм связано с повреждающим воздействием коротковолнового ультрафиолета на ДНК и образованием фотопродуктов, вызывающих гибель и мутации микроорганизмов в зависимости от вида патогенов и дозы. СВЧ – излучение (в выделенных для этого диапазона частотах 0,915 и 2,45 ГГц), наряду с тепловым биологическим действием, также оказывает эффект ингибирования микроорганизмов даже в поле излучения не тепловых уровней (до 10 мВт/см²) [1].

Важным элементом установки является специально разработанный коаксиальный адаптер. Адаптер содержит: коаксиальную выходную линию; фильтр пятой гармоники; дроссельное сочленение; трансформатор импедансов; контактную сетку;

выходное устройство магнетрона и обеспечивает устойчивую работу магнетрона при достаточно высоком КПД. В условиях существенно меняющейся нагрузки (возможно помещение в камеру металлических предметов, в частности, хирургического инструментария) и СВЧ – экранов, если в исследованиях или эксплуатации требуется ограничить или исключить СВЧ – воздействие на обрабатываемый объект [3, 4]. В камере установлен кварцевый змеевик для обработки жидкости, прогоняемой по нему.

В [3] проведены успешные эксперименты при автономных либо совместных воздействиях СВЧ, УФ и озона на объекты (медицинские растворы, перевязочные материалы, инструментарий и др.), инфицированные наиболее часто встречающимися видами и штаммами патогенной микрофлоры.

Установлен факт синергизма, заключающийся в том, что результирующий бактерицидный эффект от совместного (комплексного) действия многократно превышает эффект от автономных УФ – или СВЧ – облучений и озонной обработки.

Краткая информация о начальной стадии исследований комбинированного СВЧ – УФ – О₃ бактерицидного воздействия на пищевые и споровые культуры, проведенные в институтах ВНИИТеК и ВЭИ, приведены в [5, 6].

В работе [7] на данной установке проведены подробные исследования комбинированного СВЧ – УФ – О₃ воздействия при подготовке растительного сырья (морковь, картофель, свекла) к замораживанию. Исследования показали, что предварительная обработка овощного сырья или полуфабрикатов указанным воздействием способствует быстрому прогреву подготавливаемого сырья до 60 – 70 °С, заменяя традиционное бланширование в воде. Результаты исследований выявили существенное ингибирование бактериальной микрофлоры, плесневых грибов и дрожжей, а также установлено ингибирование жизнедеятельности тестового микроорганизма: *Escherichia coli*,

являющегося показателем микробиологической безопасности продукции [7].

Микробиологический контроль используемых порошков осуществляли до и после обработки. Для микробиологического анализа из каждой пробы с продуктом с соблюдением стерильности отбирали по три образца. К каждому отобранному образцу добавляли 10 мл физиологического раствора (0,85% NaCl), готовили ряд серийных разведений (или без разведения) и высевали по 1 мл на поверхность плотных питательных сред (по 2 чашки Петри для смыва или разведения с каждого образца продукта). Количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМА-ФАНМ) учитывали по ГОСТ 10444.15-94 после выращивания при 30 °С в течение 48-72 часов на мясопептонном агаре (МПА). Число плесневых грибов и дрожжей подсчитывали по ГОСТ 10444.12-88 после инкубации в течение 72 часов при 28 °С на среде Сабуро.

Микробиологическое исследование облученных и контрольных образцов выполняли в день облучения. Для уменьшения статистической ошибки, в каждом варианте опыта использовали по три повторности для каждой точки эксперимента.

Подсчет количества микроорганизмов, выросших на плотной питательной среде, проводили способом прямого подсчета числа колоний по ГОСТ ISO 7218-2015. При этом рассчитывали число микроорганизмов, присутствующих в пробе, как средневзвешенное значение из двух подсчетов последовательных разведений по формуле

$$\frac{\Sigma c}{1,1Vd}$$

где: N – число микроорганизмов, Σc – сумма колоний, подсчитанных в двух чашках Петри, выбранных для подсчета из двух последовательных разведений, V – объем посевного материала, внесенного в каждую чашку Петри (см³), d – коэффициент разведения, соответствующий первому выбранному разведению (в случае отсутствия разведения - $d=1$). Ре-

зультат вычисления округляли до двух значащих цифр.

Результаты и обсуждение

1. Проведено исследование процесса озонирования в установке. Измерения проводились с помощью оптического газоанализатора «Циклон – 5.31». Отбор проб газа осуществлялся трубкой, вводимой через запредельное отверстие (для СВЧ – электромагнитных колебаний) в рабочую камеру. Отметим, что предельная допустимая концентрация (ПДК) озона в производственных помещениях составляет $0,1 \text{ мг/м}^3$. Для повышения концентрации озона в камеру устанавливались четыре стеклянные банки с водой (поверхность воды в каждой около 20 см^2). Температура воды измерялась контактным термометром и измерялось в зависимости от времени экспозиции в пределах от 20 до $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Установлено, что максимальная концентрация озона в камере превышала ПДК в 400 раз.

На рис. 3 и 4 приведены зависимости концентрации озона от времени при включении и выключении СВЧ – магнетрона. Введение в камеру сосудов с водой повышает максимальное значение концентрации озона примерно на 30 % (кривые 2) по сравнению с концентрациями при их отсутствии (кривые 1).

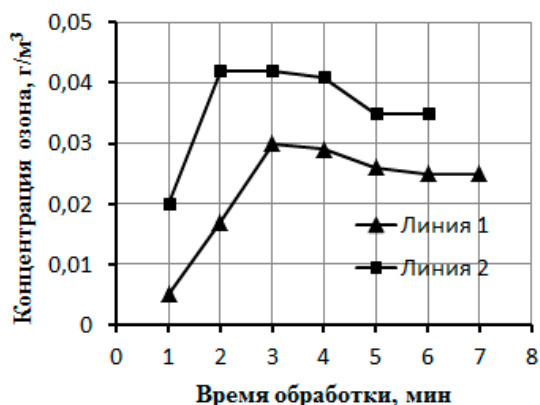


Рис. 3. Зависимость концентрации озона от времени при включении установки. 1- без банок, 2- с 4 банками с водой

Эти состояния можно охарактеризовать как режим с пониженной концен-

трацией озона (1) и режим с повышенной концентрацией (2) (рис. 3 и 4).

2. В работе проведено исследование бактерицидного воздействия СВЧ – УФ – O_3 на пищевые криопорошки из свеклы, моркови и тыквы, сухое молоко, сухие дрожжи и специи. В продуктах до обработки и после нее определяли: количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), количество плесневых грибов и дрожжей.

Специальные эксперименты были поставлены с культурой *Clostridium sporogenes* (споры и вегетативные клетки в соотношении 1:5), которая является тест-культурой при разработке режимов стерилизации низкокислотных продуктов (возбудители бомбажа овощных, мясных, рыбных и других консервов).

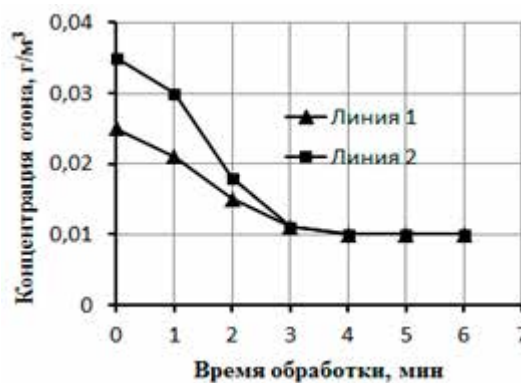


Рис. 4. Зависимость концентрации озона от времени с момента отключения установки. 1- без банок, 2- с 4 банками с водой

В работе проведены исследования комплексной обработки порошков и криопорошков овощей, порошков молока и дрожжей.

Получение плодоовощных криопорошков предусматривает щадящую технологию первичной тепловой обработки, поэтому они могут иметь повышенную обсемененность патогенными микроорганизмами, превышающими требования СанПиНа. Один из возможных путей подавления жизнедеятельности микроорганизмов – воздействие СВЧ – УФ – O_3 .

В таблице 1 приведены результаты обработки высушенной культуры *C. sporogenes*.

В таблице 2 даны результаты экспериментов по обработке порошков. Криопорошок тыквы перед обработкой был

смешан с сухими дрожжами в соотношении веса порошок : дрожжи, как 1000 : 1.

Таблица 1. Влияние комплексной обработки (СВЧ – УФ – и О₃) на микробиологическую высушенную культуру *C. sporogenes* (споры и вегетативные клетки в соотношении 1:5)

№ п/п	Объект обработки	Варианты обработки	Количество клеток и спор,	
			Исходное	После обработки.
1	Культура <i>C. sporogenes</i>	СВЧ-УФ, 12 мин	$1,7 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^6$
2	Культура <i>C. sporogenes</i>	СВЧ-УФ-О ₃ , 12 мин	$1,7 \cdot 10^7$	$5,4 \cdot 10^2$
3	Культура <i>C. sporogenes</i>	СВЧ-УФ-О ₃ , 8 мин	$5,2 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^4$
4	Культура <i>C. sporogenes</i>	СВЧ, 8 мин	$5,2 \cdot 10^6$	$3,8 \cdot 10^5$

Таблица 2. Влияние комплексной обработки (СВЧ – УФ – и О₃) на микробиологическую обсемененность продуктов

№ п/п	Продукт	Варианты обработки	Количество МА-ФАНМ, КОЕ в 1г продукта		Количество плесневых грибов, КОЕ в 1г продукта		Количество дрожжей, КОЕ в 1г продукта	
			Исходное	После обработки.	Исходное	После обработки.	Исходное	После обработки.
Криопорошки из овощей								
1	Криопорошок моркови	СВЧ-УФ-О ₃ , 30мин.	$1,5 \cdot 10^3$	Менее $1,0 \cdot 10^2$	$3,2 \cdot 10^5$	Менее $1,0 \cdot 10^2$	-	-
2	Криопорошок моркови	СВЧ-УФ-О ₃ , 20мин.	$2,0 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^2$	$2,0 \cdot 10^2$	Менее $1,0 \cdot 10^2$	-	-
3	Криопорошок свеклы	СВЧ-УФ-О ₃ , 20мин.	$2,0 \cdot 10^3$	Менее $1,0 \cdot 10^2$	-	-	-	-
4	Криопорошок тыквы	СВЧ, 10мин.	-	-	-	-	$1,8 \cdot 10^7$	$4,6 \cdot 10^6$
5	Криопорошок тыквы	СВЧ-УФ-О ₃ , 10мин.	-	-	-	-	$1,8 \cdot 10^7$	$4,8 \cdot 10^4$
Молочные порошки								
6	Сухое цельное молоко	СВЧ-УФ-О ₃ , 24мин	$7,0 \cdot 10^3$	$5,0 \cdot 10^1$	-	-	-	-
7	Сухое обезжир. молоко	СВЧ-УФ-О ₃ , 24мин	$1,6 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^1$	-	-	-	-
8	Сухое обезжир. молоко	УФ, 24мин	$1,6 \cdot 10^3$	$3,0 \cdot 10^2$	-	-	-	-
9	Молочная сыворотка	СВЧ-УФ-О ₃ , 12мин	$2,5 \cdot 10^3$	$3,0 \cdot 10^1$	-	-	-	-
Дрожжи пекарские								
10	Дрожжи пекарские	СВЧ-УФ-О ₃ , 5 мин	-	-	-	-	$8,5 \cdot 10^{15}$	$1,3 \cdot 10^1$ ₃
11	Дрожжи пекарские	СВЧ, 5 мин	-	-	-	-	$8,5 \cdot 10^{15}$	$4,0 \cdot 10^1$ ₃

(-) микробиологический показатель не определяли

Заключение

Измерения показывают эффективность воздействия на микроорганизмы комплексного воздействия СВЧ – УФ – О₃, по сравнению с обработкой только СВЧ облучением. Комбинированная СВЧ – УФ – О₃ обработка снижает общую об-

семененность овощных порошков на 2-3 порядка величины, а в случае с обработкой культуры *C. sporogenes* приводит к снижению спор и вегетативных клеток более, чем на 4 порядка величины.

Проведенные исследования соответствуют результатам работы [3] по воз-

действию СВЧ – УФ – О₃ на патогенную микрофлору медицинских материалов, а так же работы [7] по ингибированию бактериальной микрофлоры различного растительного сырья. Можно утверждать, что данные исследования, в целом, подтверждают факт «синергизма», заключающийся в том, результирующий бактерицидный эффект от совместного (комплексного) действия превышает результаты от автономных (отдельных) обработок. Следует отметить, что при проектировании новых бактерицидных установок необходимо более широко использовать УФ – прозрачные (кварцевые) детали, высокоотражающий материал всех стенок камеры, устройства для перемешивания (тряски) порошков и других продуктов, систему подачи газообразного кислорода, и т. д.

Список литературы

[1]. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности // Под общей редакцией Козьмина Г.В., Гераськина С.А., Санжаровой Н.И. Обнинск: ВНИИРАЭ. - 2015. – 400 с.

[2]. Александрова О.Ю., Жидков Р.А., Шлифер Э.Д.. Осветительные и облучательные устройства на базе безэлектродных СВЧ – разрядных источников оптического излучения // Высоковольтная вакуумно-плазменная электроника. М.: Изд-во ВЭИ, 2008. - С.108-120.

[3]. Безлепкин А.И., Переводчиков В.И., Шлифер Э.Д. Разработка установки для обезза

раживания жидких и твердофазных объектов комбинированным воздействием СВЧ – УФ – излучений и озона // Высоковольтная и преобразовательная техника. М.: Изд-во ВЭИ, 2001. - С.137-143.

[4]. Шлифер Э.Д.. Некоторые особенности и проблемы создания осветительных и облучательных устройств на базе безэлектродных газоразрядных ламп с СВЧ – накачкой // Светотехника. - 1999. - № 1. - С.6-9.

[5]. Александрова О.Ю., Жидков Р.А., Завьялов М.А. и др. Комбинированное СВЧ – УФ – О₃ бактерицидное воздействие на пищевые порошки и споровые структуры // Международная конференция «Производство рыбной продукции». - Калининград: Атлант НИРО, 2011. - С.198-199.

[6]. Завьялов М.А., Лейсон И.Н., Ломачинский В.А., Никонов А.О, Прокопенко А.В, Филиппович В.П. Асептическая обработка пищевых порошков с использованием энергии электромагнитных колебаний сверхвысокочастотного диапазона // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2011. - № 2. - С.8-13.

[7]. Завьялов М.А., Шишкина Н.С., Карастоянова О.В., Степанищева Н.М., Шаталова Н.И., Борченкова Л.А., Кухто В.А., Левшенко М.Т., Филиппович В.П. Использование комбинированного воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты, ультрафиолетового излучения и озона (СВЧ – УФ – О₃) при подготовке растительного сырья к замораживанию // Холодильная техника. - 2018. - № 2. - С.54-58.