

Светодиодные УФ-облучатели в пищевой промышленности

Сакен Юсупов,
saken.jusupov@ledil.com
Екатерина Ильина,
ekaterina.ilyina@ledil.com
Александр Карев,
a.karev@ltcompany.com
Александр Копич,
a.kopich@ltcompany.com
Леонид Голуб,
lgolub@ltcompany.com

Человек считает себя царем природы, хищником, который, благодаря своему разуму, взошел на вершину пищевой цепочки. Люди создали технологии промышленного производства еды, научились извлекать ресурсы из земли, победили многие болезни, построили большие города с искусственной средой обитания и даже возомнили себя причиной глобальных климатических изменений, которые циклично происходят уже много сотен миллионов лет. Но микроскопический вирус Ковида показал, что человечество уязвимо и микроорганизмы все еще представляют серьезные угрозы для высокой самооценки «царя природы».

Если сравнивать людей и другие живые существа, обитающие на нашей планете, по массе, то мы видим картинку, как на рис. 1.

Люди относятся к царству животных, и их масса составляет лишь 6% от суммарной массы всех животных.

Глядя на эти факты, можно сделать вывод, что человечество только одно из звеньев в цепочке планетарного биоценоза, причем звено весьма небольшое. Бактерии, вирусы и простейшие одноклеточные микроорганизмы – вторые по суммарному весу жители нашей планеты после растений. Все мы и многие окружающие нас предметы буквально пропи-



Рис. 1. Сравнение по массе людей и других живых существ

таны коктейлем из бактерий, грибов и других простейших организмов.

В общей сложности вес живущих в каждом человеке микроорганизмов составляет 1–2,5 кг. Наша наука уделяет наибольшее внимание болезнетворным микроорганизмам как источнику реальной или потенциальной опасности для жизни людей. Также давно и активно изучаются микроорганизмы-симбионты, от деятельности которых зависит наше здоровье и качество жизни. Относительно недавно люди начали системно изучать микроорганизмы, пригодные для применения в различных технологических процессах, таких как выработка биогаза из органических отходов, разложение пластикового мусора и производство модных йогуртов.

Давным-давно, около 10–15 тысяч лет назад, люди начали одомашнивать животных, и тогда это коренным образом изменило жизненный уклад и экономику человеческого социума. В ближайшее время «одомашнивание микробов» и генетическая инженерия могут произвести биотехнологическую революцию, которая так же сильно изменит глобальную экономику, социальную сферу и человеческий быт.

Но относительно безвредные для людей бактерии, плесень и грибы могут не только создавать вкусное пиво или пикантный сыр «Рокфор», но и портить продукты питания. Все мы знаем, что при долгом хранении молоко киснет, хлеб плесневеет, а рыба и мясо гниют. Для того чтобы продлить сроки хранения разной еды, нужно уменьшить количество бактерий, содержащихся в продуктах питания и упаковке.

Для защиты продуктов и упаковки от вредных бактерий и плесени в пищевой промышленности применяют разные методы, в том числе термическую обработку и химические реагенты. Бурное развитие электроники, светотехники и появление ультрафиолетовых ламп дало возможность уничтожать вредные микроорганизмы ультрафиолетовым излучением.

Технологии УФ-обеззараживания имеют явные преимущества по сравнению с химической или тепловой обработкой, поскольку ультрафиолет не накапливается в продуктах, не изменяет их вкусовых качеств и значительно увеличивает срок хранения и реализации еды. Ультрафиолет повреждает цепочки ДНК микроорганизмов и тем самым ли-



Рис. 2. Тоннельные и конвейерные УФ-облучатели

шает их возможности размножаться и портить продукты питания. Поэтому ультрафиолетовые лучи активно применяются в пищевой промышленности для биологической дезактивации – снижения обсемененности разных продуктов питания колониеобразующими мезофильными аэробными и факультативными анаэробными микроорганизмами (КМАФАнМ). Во всех странах технологии промышленной переработки пищевых продуктов регулируются национальным законодательством, в России технологии ультрафиолетовой дезинфекции в пищевой промышленности нормируются следующими документами:

1. Решение Комиссии Таможенного союза от 28.05.2010 № 299 «Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)» описывает допустимые нормы по обсемененности КМАФАнМ, спорами плесени и грибов [1].
2. Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарном благопо-

лучии населения» предусматривает регламент по обеззараживанию воздуха и поверхностей помещений в организациях по производству пищевых продуктов, общественного питания и продовольственной торговли [2].

3. Положение о государственном санитарно-эпидемиологическом нормировании, утвержденное Постановлением Правительства РФ от 24.07.2000 № 554, а также Руководство «Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха и поверхностей в помещениях», утвержденное Главным государственным санитарным врачом РФ (Р 3.1.683–98) [3].
4. Требования и условия эксплуатации УФ-оборудования описаны в «Инструкции по применению ультрафиолетового излучения при производстве, хранении и перевозке сырья и продуктов животного происхождения» от 19 июля 2002 г. № 13–5-02/0536 [4].

В последнее время все большее внимание уделяется продлению

сроков хранения скоропортящихся продуктов с применением УФ-технологий, которые не влияют на органолептические свойства продукции. Для этого обычно применяют тоннельные и конвейерные облучатели. В России такое оборудование производит компания agronis.ru в Москве и polimer-uvmarket.ru в Саратове. Внешний вид тоннельных и конвейерных облучателей показан на рисунке 2.

Тоннельные установки применяют для обеззараживания свежего сырого мяса. Послезабойное хлорирование туш в последние годы было полностью запрещено, поэтому сейчас используют антимикробные препараты на основе перекиси водорода и надуксусной кислоты. Практика показала, что для устранения обсемененности такими препаратами необходимо обрабатывать туши не менее 20 мин., а это дорого, потому как в массовом производстве время – деньги, да и для передержки обработанных туш в течение 20 мин. нужно создать специальные чистые помещения, которые должны быть

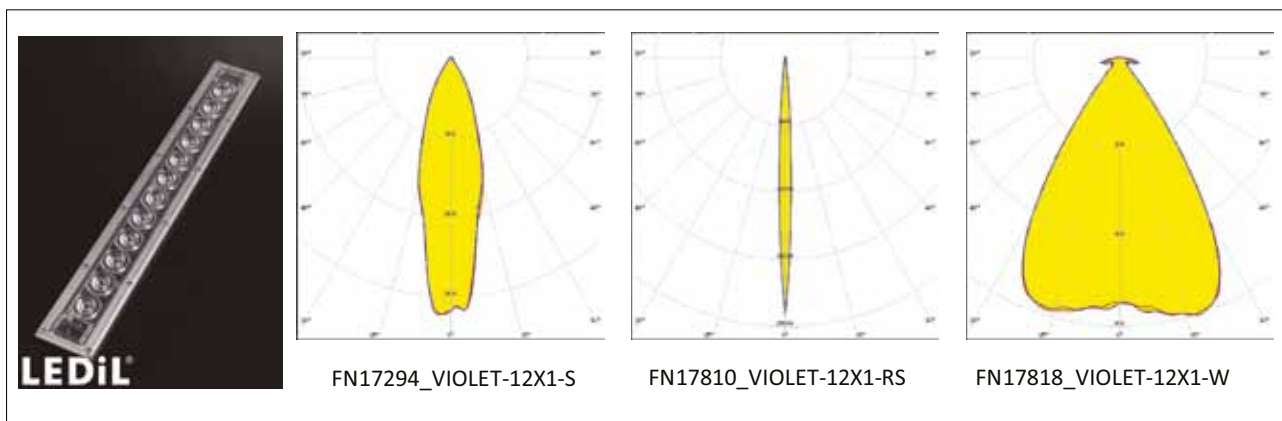


Рис. 3. Линзы семейства Violet-12x1 и их световые диаграммы

безопасными для работающих в них людей. Применение тоннельных УФ-облучателей позволяет быстро, по ходу движения туш на конвейере к холодильнику, дезактивировать вредные микроорганизмы на поверхности свежего мяса и затем быстро заморозить его. Мощный поток УФ-излучения не только дезактивирует вредную микрофлору, но и вызывает цепные свободно-радикальные реакции окисления ненасыщенных жирных кислот липидов, в большом количестве содержащихся в мясе и кожном покрове животных.

Образующиеся в процессе перекисного окисления гидроксильные радикалы обладают сильнейшим бактерицидным потенциалом инактивации всех видов микроорганизмов. Конечные продукты перекисного окисления – органические гидроперекиси – являются стабильными продуктами, обеспечивающими длительную консервацию обработанного мяса.

Поскольку эти продукты образуются в результате цепных химических реакций, они распространяются и на те участки поверхностей, куда не проникает прямое УФ-облучение [5]. Это значительно повышает срок хранения замороженного мяса.

Конвейерные установки применяются для обеззараживания продуктов питания, упаковки и в этом случае УФ-облучатели располагают над конвейерной лентой.

Конвейерная лента, после контакта с продуктами, сама по себе становится хорошей питательной средой для вредных микроорганизмов, и ее тоже нужно чистить. Для обеззара-

живания самой конвейерной ленты УФ-облучатели располагают под лентой конвейера, и они обрабатывают ленту снизу.

Подобные установки требуют мощных источников УФ-облучения, традиционно в них применяют амальгамные лампы, в которых ртуть содержится в виде сплава ртуть-висмут-индий. Такие лампы работают дольше обычных люминесцентных УФ-ламп, способны выдавать больший поток излучения и безопаснее при утилизации. В последние годы на рынке начали появляться и светодиоды УФ-диапазона. Светодиоды имеют множество достоинств: долгий срок службы, стабильный поток ультрафиолета все время службы светодиодного облучателя. УФ-светодиоды можно часто включать и выключать без вреда для их параметров и срока службы. Светодиоды не боятся вибраций и сотрясений, хорошо работают при низких температурах. Светодиоды можно изготавливать с нужными спектрами,

эффективными для решения разных задач. УФ-светодиоды не озонируют воздух во время работы. Маленькие габариты светодиодов удобны для работы с оптикой для фокусировки излучения на дезинфицированных поверхностях. Применение специализированной УФ-оптики дает возможность сконцентрировать почти все излучение светодиода в нужной области, что заметно повышает дозы облучения и уменьшает время дезинфекции.

Сегодня самый большой ассортимент оптики для УФ-светодиодов производит финская компания LEDIL. Она разрабатывает подобную оптику более 10 лет и в 2021 году начала выпуск нового семейства линз из оптического силикона для UVC-светодиодов VIOLET-12X1 (рис. 3).

Оптическая эффективность линз данного семейства достигает 89% в зависимости от типа применяемых светодиодов. Размеры линзы 295×42×9 мм. Линза сделана из эластичного и прозрачного силикона



Рис. 4. Фото УФ-облучателя UVLINE LED

и полностью покрывает собой светодиодную плату, герметично изолируя ее от внешнего воздействия влаги и пыли. В комплекте поставки предусмотрена крепежная металлическая рамка, которая прижимает поля линзы к радиатору/корпусу светильника.

Российская компания «Световые Технологии», один из лидеров в области производства светильников, начала выпуск светодиодных ультрафиолетовых облучателей для дезинфекции поверхностей, которые можно применять в пищевой промышленности. В этом облучателе установлены линзы VIOLET-12X1. Свое новое изделие сотрудники компании нарекли англоязычным именем UVLINE LED (рис. 4).

НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

- Облучатель UVLINE LED (далее – облучатель) предназначен для снижения уровня микробиологической обсемененности и обеззараживания технологических поверхностей, тары, упаковки, инструментов, пищевых, лекарственных продуктов или иных объектов на пищевых предприятиях, предприятиях розничной торговли и общественного питания, в медицинской и фармацевтической промышленности, косметологии и др.
- Применяется на линиях обработки, фасовки и розлива, упаковки сырья, обработки упакованной продукции в пленку, в камерах хранения продукции для обеспечения повышения качества и безопасности, увеличения срока хранения продукции.
- Принцип действия облучателя основан на обеззараживании объекта УФ-излучением светодиодного источника излучения, генерирующего излучение с длиной волны в диапазоне 275 нм.
- Облучатель устанавливают на расстоянии 50–150 мм от рабочей поверхности, при этом высокая плотность потока излучения на рабочей поверхности обеспечивается за счет использования специальных силиконовых оптических концентраторов УФ-излучения.

- Конструкция облучателя обеспечивает защиту от проникновения влаги и пыли внутрь на уровне IP67 и позволяет проводить очистку и мойку внешних поверхностей.
- В конструкции облучателя отсутствуют опасные и ядовитые вещества: ртуть, свинец, стекло и т. д.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Источник УФ-излучения – светодиоды, излучающие в УФ-С диапазоне 260–280 нм.
- Вторичная оптика – силиконовый модуль с 12 линзами, изготовленными из материалов с высокой стойкостью к УФ-излучению, – специально разработана для облучателей УФ С-диапазона.
- Корпус облучателя изготовлен из алюминиевого профиля и обеспечивает степень защиты от пыли и влаги не ниже IP66.
- Облучатель рассчитан на работу от сети переменного тока, параметры питающей сети: 230 В, частота тока 50 Гц. Качество электроэнергии должно соответствовать ГОСТ 32144–2013.

- Условия эксплуатации: температура окружающего воздуха –20...+50°C.
- Коэффициент мощности: не менее 0,9.
- Технические характеристики приведены в таблице.

Конфигурация рабочей зоны при расположении облучателя на расстоянии h от рабочей поверхности представлена на рис. 5.

Обслуживание облучателя предусматривает регулярную очистку поверхности с помощью мягкой хлопчатобумажной ткани, смоченной моющим раствором.

Посмотрим, как работает этот облучатель в расчетной модели дезинфекции ленты транспортера. В лечебно-профилактических учреждениях в качестве санитарно-показательного микроорганизма выбран *Staphylococcus Aureus*. В задачах пищевой промышленности обеспечение микробиологической безопасности оценивается по группе микроорганизмов КМАФАнМ (колониеобразующим мезофильным аэробным и факультативным анаэробным микроорганизмам, дрожжам и плесеньям). Качество

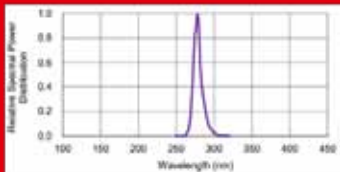
Таблица. Технические характеристики облучателя UVLINE LED	
Технические характеристики	
Напряжение питания, В	230
Потребляемая мощность, Вт	9,4
Мощность потока УФ-излучения, мВт	100
Тип диодов	ProLight PB2D-1CLA-TC 1W UV Power LED
Количество диодов, шт.	12
Распределение спектральной плотности УФ-излучения (Tj = 25°C)	
Срок службы	2000
Габаритные размеры, мм	325×61×130
Масса, кг	1,5



Рис. 5. Характеристики рабочей зоны УФ-облучателя UVLINE LED

и безопасность пищевой продукции определяется не по их отсутствию (этого практически достичь нельзя), а по предельно допустимым концентрациям.

Для обеспечения инактивации санитарно-показательных для пищевой промышленности групп микроорганизмов дозы составляют:

- КМАФАМ 30–50 мДж/см², что равно 300–500 Дж/м²;
- Дрожжи 40–70 мДж/см², что равно 400–700 Дж/м²;
- Плесени 50–100 мДж/см², что равно 500–1000 Дж/м².

Поэтому «медицинские» УФ-облучатели не обеспечивают ожидаемого эффекта на предприятиях пищевой промышленности. Бактерицидные установки для обеззараживания (деконтаминации) поверхностей конвейеров и перемещающихся по ним упаковочных и укрупорочных изделий (облучатели технологических линий) применяются в случае потенциального риска контаминации поверхностей конвейеров, тары, упаковки и продукции патогенными, санитарно-показательными и иными микроорганизмами в количествах, влияющих на безопасность и качество продукции.

Возьмем непрерывно движущийся конвейер длиной 1,8 м. На рисунке 6 показано распределение облученности на поверхности движущейся ленты с рабочей поверхностью 30×160 см. Облученность от 36 облучателей составляет 5200 мВт/м², или 5,2 Вт/м².

Согласно [6], для обеззараживания конвейерных лент допускается достижение необходимой бактерицидной дозы за несколько (но не более пяти) проходов ленты через зону облучения. Поскольку мощность одного облучателя всего 100 мВт, то для достижения дозы облучения 400 Дж/м² будем исходить из пяти проходов.

При длине рабочей зоны 160 см получится:

время обработки поверхностей t (с) рассчитывается как отношение длины зоны облучения (см) к скорости движения конвейера (см/с), получаем: 160 см: 10 см/с = 16 с.

Бактерицидная доза ($D_{бк}$), равная произведению бактерицидной облу-

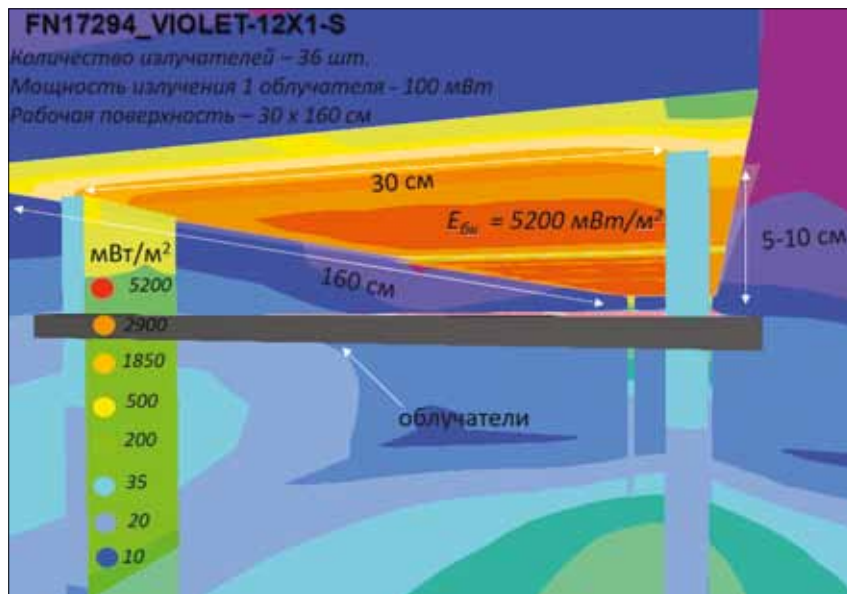


Рис. 6. Распределение облученности на поверхности конвейерной ленты

ченности $E_{бк}$ на время обработки (t) за один проход, составит:

$$D_{бк1} = 5,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot 16 \text{ с} = 83,2 \text{ Дж/м}^2.$$

За пять проходов получится суммарная доза:

$$D_{бк5} = 83,2 \cdot 5 = 416 \text{ Дж/м}^2.$$

Таким образом, доза, необходимая для дезинфекции ленты транспортера по КМАФАМ, будет достигнута 36 облучателями, размещенными в рабочей зоне размерами 30×160 см.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2020 году население Земли составило 7 830 458 560 человек, и все эти люди должны регулярно питаться. Для того чтобы прокормить самих себя, люди создали огромную пищевую индустрию. В мире годовой оборот продуктового бизнеса приблизительно в 1,5 раза больше нефтяного. И в нем работают множество высокотехнологичных производств, которые занимаются глубокой переработкой исходного сырья. Владельцы этого высокомаржинального бизнеса инвестируют большие деньги в технологические инновации, которые повышают производительность труда и снижают производственные издержки.

Технологии увеличения срока хранения и реализации продуктов питания, при сохранении их вкусо-

вых качеств, очень выгодны производителям продуктов питания и торговым сетям. Поэтому ультрафиолетовые облучатели для биологической дезактивации, которые решают эти задачи, востребованы. Светодиодные УФ-облучатели имеют ряд преимуществ по сравнению с ламповыми – они служат дольше, не боятся вибраций, их легко мыть при загрязнении. Оптика в конструкции облучателя направляет и концентрирует УФ-излучение на нужных поверхностях. Это позволяет располагать УФ-облучатели на конструктивно удобном расстоянии от зоны обеззараживания. Российская компания «Световые Технологии» одной из первых в мире осознала этот тренд и начала производство светодиодных ультрафиолетовых облучателей для пищевой промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) www.58.rosпотребнадзор.ru/documents/10156/118758/Решение+Комиссии+таможенного+союза+от+28+мая+2010+г.+N+299+.doc?targetExtension=pdf
- 2) www.legalacts.ru/doc/r-351904-04-35-dezinfektologija-ispolzovanie-ultrafioletovogo-bakteritsidnogo/
- 3) www.legalacts.ru/doc/r-351904-04-35-dezinfektologija-ispolzovanie-ultrafioletovogo-bakteritsidnogo/
- 4) www.lawmix.ru/pprf/46912
- 5) www.polimer-uvmarket.ru/articles/principy-primeneniya-uv-tehnologii-v-pishchevoj-promyshlennosti/
- 6) www.agronis.ru/wp-content/uploads/2019