

*complemented by information control systems Kohonen self-organizing maps in case management settings purification.*

***Kohonen self-organizing map, neural network, water purification, waste water, control system.***

УДК 631.664

## **УСТАНОВКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЖИДКИХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ИК И УФ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

***А.В. КУЗЬМИЧЕВ, научный сотрудник***

***Д.А. ТИХОМИРОВ, кандидат технических наук***

***ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва***

*Разработан экспериментальный образец установки для обработки жидких пищевых продуктов на базе унифицированного модуля ИК и УФ излучателя. Модульный принцип конструкции позволяет расширить функциональные возможности установки. Показана область ее применения.*

***Унифицированный модуль, ИК и УФ излучение, пастеризация, жидкий пищевой продукт.***

Среди методов обработки жидких пищевых продуктов следует отметить актинизацию, т.е. воздействие на продукт излучением в ультрафиолетовой и инфракрасной области спектра электромагнитных волн с целью получения заданного или ожидаемого эффекта[2].

Компания MEGA-UV (США) производит оборудование для ультрафиолетовой холодной пастеризации вина, осветленных соков, сахарных сиропов, растворов, напитков, рассолов и жидких фармацевтических сред. Принцип действия оборудования основан на уничтожении микроорганизмов ультрафиолетовым излучением.

Примером использования установки ультрафиолетового излучения (УФИ) является обработка молока для выпойки животных [1]. Другое направление применения УФИ, которое получило широкое распространение, – это обеззараживание воды. Однако во многих исследованиях установлено изменение органолептических свойств исходного продукта, обработанного УФ-излучением [7,8].

Известно, что при воздействии ИК излучения происходят изменения только в колебании или вращении атомных групп. Энергия, сообщенная квантами электромагнитного излучения веществу, изменяет энергетическое состояние его молекул и превращается в тепло, при этом сохраняются полезные микробиологические составляющие компоненты жидкого пищевого продукта, и уничтожается болезнетворная микрофлора. Наиболее

---

© А.В. КУЗЬМИЧЕВ, Д.А. ТИХОМИРОВ, 2015

эффективным и энергетически выгодным для обработки является средневолновая инфракрасная область спектра электромагнитных волн с длиной  $\lambda_{\max} = 2,4\text{--}2,5$  мкм. При толщине обрабатываемого слоя жидкости примерно 1–5 мм до 80 % излучения трансформируется в тепловую энергию непосредственно в продукте, при этом сокращается время обработки.

Опыт применения показал высокую эффективность применения ИК излучения для обработки молока [4].

Способ обработки жидких пищевых продуктов ультрафиолетовым (УФ) излучением позволяет значительно снизить уровень лучистой энергии. Однако применение такого способа имеет некоторые ограничения, поскольку при поглощении квантов высокой энергии (в сравнении с ИК) в молекулярной структуре происходят более значительные изменения, выражающиеся в отрыве электронов от атомных групп, возможно расщепление молекул на атомы.

**Цель исследований** – разработка установки для обработки жидких пищевых продуктов ИК и УФ излучением.

**Материалы и методика исследований.** Анализ показывает, что способ и эффективность обработки жидкого пищевого продукта обусловлены следующими факторами:

1) характером воздействия: спектром энергетического воздействия, который может иметь локализацию в определенной узкой полосе, или варьирование диапазонов воздействия в УФ и ИК электромагнитной области; интенсивностью излучения; экспозицией;

2) физико-химическими и биологическими свойствами жидкости, подвергаемой обработке: показателем поглощения; предельно допустимыми значениями доз облучения  $H_{\text{доп. min}} < H_{\text{доп. max}}$ , определяющие принципиальную возможность осуществления способа, и характеризующие прежде всего УФ воздействие.  $H_{\text{доп. min}}$  – определяет допустимую минимальную дозу УФ облучения, при которой возможно достижение необходимого технологического эффекта.  $H_{\text{доп. max}}$  – определяет допустимую максимальную дозу УФ облучения, при превышении которой происходят существенные структурные изменения, нарушающие вкусовые и питательные свойства продукта [7, 8];

3) целью или комплексом задач, которые ставятся при обработке жидкости.

Основной целью является достижение бактериальной чистоты исходного продукта и при этом, одновременно, может ставиться задача получения структурных изменений в продукте, позволяющих достичь требуемого технологического эффекта.

Существует целый ряд технологий, где осуществляется совместная ИК и УФ обработка. Это воздействие может чередоваться во времени или происходить одновременно. Например, при пастеризации молока первоначально осуществляется промывка технологического оборудования водой, обработанной УФ, затем происходит обработка продукта ИК излучением и на заключительном этапе – промывка оборудования водой или водными растворами с применением УФ.

Для реализации различных технологий и условий обработки жидких пищевых продуктов требуется широкая номенклатура оборудования. Для каждого конкретного случая выбор оборудования достаточно сложная задача. Если качество при ИК обработке жидкого продукта характеризуется температурой на выходе, то для УФИ этот показатель зависит от сочетания различных факторов.

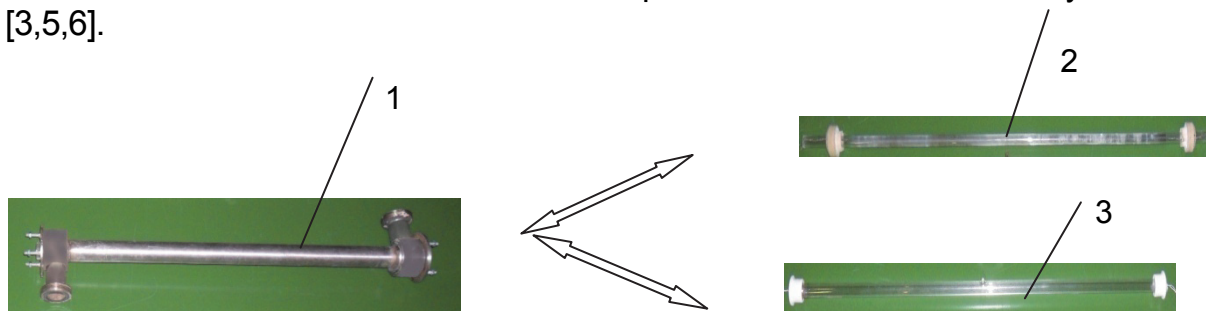
Исходя из этого, возникает необходимость в создании установок, отвечающим следующим требованиям:

- возможность встраивания в существующие технологические линии;
- отдельное или комбинированное воздействие ИК, УФ излучения на продукт;
- использование источников излучения различной мощности и спектра;
- использование многоступенчатого воздействия на продукт в технологическом процессе.

**Результаты исследований.** Подобную систему технологического оборудования можно построить на основе использования базовых элементов и модулей. Под базовыми элементами понимается взаимозаменяемый набор ИК и УФ излучателей, вставляемых в отдельный модуль. На основе этого можно построить универсальную техническую систему, удовлетворяющую практически любым технологическим задачам. Возможности такой системы можно оценить следующим образом. Если  $n$  – количество взаимозаменяемых излучателей, а  $k$  – количество модулей, то возможное число сочетаний и, соответственно, способов воздействия составит  $n^k$ . Такой подход позволяет реализовать широкие возможности по вариации параметров облучения с учетом биологических характеристик обрабатываемого продукта и технологических задач: спектр, энергия, мощность излучения, время воздействия.

Один из методов обработки жидкости излучением – осуществление его в тонком слое.

На рис.1 показан унифицированный модуль 1, включающий источник ИК излучения 2 мощностью до 4 кВт, температура излучающего тела в номинальном режиме составляет 650–800 °С. Конструкция модуля позволяет использовать также стандартные источники УФ излучения 3 [3,5,6].



**Рис.1. Унифицированный модуль излучателя:**  
1 – унифицированный модуль; 2 – ИК излучатель;  
3 – УФ излучатель

Особенность конструкции позволяет создать систему, состоящую из нескольких модулей, соединенных между собой последовательно, параллельно, или комбинированно, что позволяет увеличивать время обработки продукта и производительность, кроме того, в отличие от существующих установок, возможно осуществление совместного воздействия ИК и УФ излучения. Допускается использование различных типов ламп, отличающихся по мощности, спектральным характеристикам в зависимости от задач и целей, которые ставятся при обработке жидкого продукта.

Воздействие УФ излучения (УФИ) на обрабатываемый продукт должно находиться в определенном диапазоне спектра (длин волн), строго дозироваться с целью создания среды с необходимыми характеристиками. Для каждого конкретного случая необходимо оптимизировать УФИ в определенном диапазоне  $\lambda_{min} \dots \lambda_{max}$  для получения максимального энергетического выхода  $\eta_{э} \rightarrow \eta_{э\ max} = Q_{эф}/Q_a$ , где  $Q_a$ ,  $Q_{эф}$  – соответственно поглощенная и эффективно поглощенная энергия. При этом эффективность воздействия зависит от экспозиции:

$$H_{доп.min} < H = \int_0^t E(t) dt < H_{доп.max},$$

где  $E$  – интенсивность облучения,  $H_e$  – доза облучения.

Такая оптимизация зависит от целей, которые требуется получить в результате воздействия УФИ, например: максимальное увеличение витамина  $D_3$  при обработке молока [3], снижение бактериальной обсемененности до допустимых значений, уничтожение болезнетворной микрофлоры и др. Технологический эффект от воздействия УФИ зависит от скорости фотохимической реакции и дозы облучения. Существуют подходы к оценке дозы излучения по среднему показателю  $H_{\lambda cp}$  или по наихудшему, обеспечивающему заданную дозу  $H_{\lambda min}$  в наиболее неблагоприятной зоне при условии  $H_{\lambda min} < H_{\lambda}$ .

Скорость фотохимической реакции в единице объема жидкости выражается уравнением:

$$dC/dt = k_{\lambda} E_{\lambda} C.$$

При этом соотношении средний показатель технологического эффекта запишется:

$$\ln(C_{cp}/C_0) = -(1 - e^{-\mu\delta}) (1/\mu\delta) k_{\lambda} E_{\lambda 0} T_{cp},$$

где  $C_{cp}/C_0$  – технологический эффект (например,  $C_{D3cp}/C_0$  – увеличение  $D_3$  в обрабатываемом продукте;  $C_{Бcp}/C_{Б0}$  – снижение бактериальной обсемененности и др.);  $k_{\lambda}$  – коэффициент пропорциональности (зависит от выбора системы единиц и характера протекающей реакции);  $C_0$  – концентрация исходного вещества;  $E_{\lambda 0}$  – поверхностная интенсивность облучения (индекс  $\lambda$  указывает на условие монохроматического УФ излучения).

Одной из актуальных задач является обработка жидкости УФИ с целью ее обеззараживания. Наибольшей бактерицидной эффективностью для различных групп микроорганизмов являются источники УФИ в диапазоне

волн 240–280 нм. Из экспериментальных зависимостей доля уничтоженных бактерий  $N/N_0$  (где  $N$  – число уничтоженных бактерий,  $N_0$  – общее число бактерий) от энергетической экспозиции  $H_{\lambda}$ , Дж·м<sup>-2</sup>, определяется минимально допустимая норма дозы облучения  $H_{\lambda min}$  в наиболее неблагоприятной зоне, т.е с допустимым значением  $N/N_0$  для  $H_{\lambda min}$  ( $N/N_0$ ). Мощность источника излучения, обеспечивающего заданную чистоту продукта, и производительность определяют из выражений:

$$P = fH_{\lambda min} / e^{-\mu \delta} t_{cp} \eta = GH_{\lambda min} / e^{-\mu \delta} \delta \eta, \quad G = P \delta \eta e^{-\mu \delta} / H_{\lambda min},$$

где  $f$  – поверхность жидкости, воспринимающая УФИ, м<sup>2</sup>;  $t_{cp}$  – среднее время экспозиции, определяемая из условия  $w/G$ , с;  $G$  – расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;  $w \approx f\delta$  – объем модуля, который заполнен жидкостью, м<sup>3</sup>;  $H_{\lambda min}$  – энергетическая экспозиция облученности для заданной степени обеззараживания, Дж/м<sup>2</sup>;  $\eta$  – коэффициент, учитывающий долю преобразованной энергии УФИ в полезную;  $P$  – стандартная мощность одного излучателя, Вт. Минимальная производительность одного модуля при предельных параметрах: дозы облучения  $H_{\lambda min} = 40$  Дж/м<sup>2</sup>,  $\lambda = 254$  нм,  $\mu \leq 10$  см<sup>-1</sup>, мощности источника излучения  $P = 80$  Вт,  $\eta = 0.35$  и  $\delta = 2 \cdot 10^{-3}$  м, составит  $G = 0,7$  м<sup>3</sup>/час.

Применение УФ излучения для обработки значительного числа жидких пищевых продуктов с целью снижения бактериальной среды ограничено из-за небольшой проникающей способности. Например, для молока максимальный слой проникновения излучения  $\delta_{max}$  составляет менее 0,1 мм. Скорректировать режим обработки с помощью увеличения дозы облучения приводит к биохимическим изменениям, таким как появление посторонних привкусов и запахов, и в этом случае продукт необходимо подвергать тепловой обработке [7, 8].

Для терморadiaционных пастеризаторов характерна высокая степень локализации энергии, что позволяет намного увеличить плотность энергетического воздействия, уменьшить время обработки и исключить несколько ступеней передачи и преобразования энергии. Особое преимущество состоит в том, что в таких устройствах обрабатывается сразу вся порция жидкости, поэтому нет локальных зон перегрева. На рис.2 показан общий вид пастеризатора для обработки жидкости в тонком слое, состоящего из трех унифицированных модулей с ИК излучателями [6] и традиционной схемой компоновки технологического оборудования, включающей приемный бак, рекуперативный теплообменник, насос и систему управления режимами тепловой обработки продукта, позволяющую поддерживать заданную температуру пастеризации в диапазоне 60–95 С. Основные технические параметры установки приведены ниже.

Применение рекуперативного теплообменника в технологической схеме пастеризатора позволяет значительно снизить мощность нагревательных элементов и расход энергии на нагрев [4]. Для подготовки и обеззараживания технологической воды с целью промывки оборудования в пастеризатор включен дополнительный унифицированный модуль УФИ. При этом энергия УФИ, необходимая для ее обеззараживания, значительно меньше, чем при тепловой обработке.

## Техническая характеристика экспериментальной установки ИК обработки жидких пищевых продуктов

Производительность, л/ч	200...1000
Мощность нагревательного модуля, кВт	3
Количество нагревательных модулей	3
Тип нагревателя	ИК излучатель
Диапазон нагрева продукта, °С	До 96
Напряжение, В	380/220
Масса установки, кг	90



Рис.2. Установка для ИК пастеризации жидкости в тонком слое

**Выводы.** На основе унифицированного модуля, который позволяет использовать различные ИК и УФ излучатели, возможно создание установок для обработки жидкостей, реализующих широкие возможности вариации параметров процесса облучения: спектр, энергия, мощность излучения, время воздействия.

Модульный принцип конструкции установки позволяет расширить ее функциональные возможности: обрабатывать жидкие пищевые продукты с различными физико-химическими и биологическими свойствами; производительность может варьироваться в широком диапазоне в зависимости от количества модулей, входящих в его состав; простота конструкции позволяет встраивать в существующие технологические линии; возможность осуществления многоступенчатого воздействия на продукт.

Модульные установки могут найти применение как в небольших хозяйствах по переработке продукции, так и на крупных специализированных комплексах.

### Список литературы

1. Инновационное оборудование для выпойки телят [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mikua.info/ru/companynews/248>.
2. Исламов М.Н. Применение электродиализа для биологической стабилизации виноградных вин и соков / М.Н. Исламов, Т.А. Исмаилов, З.Н. Кишковский // Современные проблемы науки и образования. – 2007. – №6. – С. 95–99.
3. Кузьмичев А.В. Эффективность комбинированной пастеризации молока УФ и ИК облучением / А.В. Кузьмичев, В.В. Малышев, Д.А. Тихомиров // Светотехника. – 2010. – №5. – С.6–9.
4. Опыт использования инфракрасного нагрева для пастеризации и обеззараживания молока, их сравнение с другими типами пастеризаторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dairy.kharkov.com>.
5. Пат. 2396059 Российская Федерация. Модульная установка для обработки жидкости инфракрасным и ультрафиолетовым излучением тонкого слоя / Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А., Ламонов Н.Г.; опубл. 10.08.2010, Бюл. №22.
6. Пат. 2389397 Российская Федерация. Модульная установка для обработки жидкости инфракрасным излучением тонкого слоя / Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А., Ламонов Н.Г., Лямцов А.К.; опубл. 20.05.2010, Бюл. №14.
7. Промышленная технология, оборудование для очистки молока от микроорганизмов и обогащения витамином D / Б.С. Гаврюшенко, В.Д. Димитриева, А.Е. Ларин, Ю.П. Фомичев / Молочная индустрия – 2009: материалы междунар. науч.-практ. конф. – М.: АНО Молочная пром., 2009. – С. 88–89.
8. Matak K.E. Effects of Ultraviolet Irradiation on Chemical and Sensory Properties of Goat Milk / K.E. Matak, S.S. Sumner, S.E. Duncan, E. Hovingh, R.W. Woboro, C.R. Hackney, M.D. Pierson // J. Dairy Sci. – 2007. – Vol. 90. – P.3178–3186.

*Розроблено експериментальний зразок установки для обробки рідких харчових продуктів на базі уніфікованого модуля ІЧ і УФ випромінювача. Модульний принцип конструкції дозволяє розширити функціональні можливості установки. Показана область її застосування.*

***Уніфікований модуль, ІЧ та УФ випромінювання, пастеризація, рідкий харчовий продукт.***

*The experimental sample of installation is developed for processing of liquid foodstuff on the basis of unified module IR and UV radiator. The modular principle for design allows expanding its functionality. The area of its application is shown.*

***The unified module, IR and UV radiation, pasteurization, liquid foodstuff.***