

Научная статья

УДК 664.8.036.26

DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-172-180

Борис Львович Каневский¹, Владимир Владимирович Кондратенко²,
Алексей Александрович Королев³, Галина Петровна Покудина⁴,
Вячеслав Иванович Сенкевич⁵

^{1,2,3,4,5}Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал
Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Видное, Московская об-
ласть, Россия

¹kanev72@mail.ru

²nauka@vniitek.ru

³process@vniitek.ru

⁴galinamil2@yandex.ru

⁵vnikor@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ ГЕТЕРОФАЗНЫХ МОДЕЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ НА ЛЕТАЛЬНОСТЬ ПРИ ФИНИШНОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ

В статье приведены результаты исследования характера и факторов влияния дисперсной фазы гетерофазных модельных пищевых систем (далее FS от англ. Food System) на кумулятивную летальность при различных режимах финишной стерилизации. Для получения обобщенных данных по влиянию свойств дисперсной фазы двухкомпонентных консервируемых продуктов на значения летальности, независимо от частных свойств указанных продуктов, экспериментальные исследования проводили на модельных FS. Дисперсная фаза модельных FS – шары из стиролакрилонитрила (SAN) диаметром 8 мм. Дисперсионные среды FS выбирали по вязкости: маловязкая – водный раствор NaCl и сахарозы по 1,5 % каждого компонента, средневязкие – 11 % водный раствор сахарозы и сок яблочный осветленный восстановленный с содержанием рсв (растворимых сухих веществ) 11,2 %. Выбор FS направлен на аутентичность их свойств к свойствам реальных FS из гетерофазных консервируемых продуктов (компоты из мелкоплодных ягод, зеленый горошек). Модельные FS фасовали в стеклянные банки вместимостью 190 мл, герметично укупоривали крышками со штуцером ввода термодатчика в банку. Имитацию стерилизации модельных FS проводили в водяном термостате типа WCH-16 в изотермических условиях с погрешностью стабилизации температуры не более $\pm 0,1$ °C и последующим охлаждением в воде. Термограммы модельных FS регистрировали измерительной системой, включающей термодатчик и восьмиканальный автоматический термометр, соединенный с ПК, для последующего анализа и аппроксимации термограмм. Обработанные экспериментальные данные исследований процесса стерилизации позволили установить преобладающее влияние дисперсной фазы на характер теплообмена гетерофазных FS независимо от реологических параметров дисперсионной среды. На основании аппроксимации термограмм стерилизации и охлаждения установлено, что теплопередача в таких FS преимущественно теплопроводная. Эти результаты позволяют с достаточной точностью проводить расчеты и математическое моделирование процесса термоинактивации целевых микроорганизмов при финишной стерилизации реальных гетерофазных FS.

Ключевые слова: гетерофазная модельная пищевая система, зона наименьшего прогревания, кумулятивная летальность, финишная термическая стерилизация, аппроксимирующая функция

Для цитирования: Влияние дисперсной фазы гетерофазных модельных пищевых систем на летальность при финишной стерилизации / Б.Л. Каневский [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2022. № 4. С. 172–180. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-172-180.

Boris Lvovich Kanevsky¹, Vladimir Vladimirovich Kondratenko², Alexey Alexandrovich Korolev³
Galina Petrovna Pokudina⁴, Vyacheslav Ivanovich Senkevich⁵

^{1,2,3,4,5}All-Russian Research Institute of Canning Technology – a branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbатов RAS, Vidnoe, Moscow Region, Russia

¹kanev72@mail.ru

²nauka@vniitek.ru

³process@vniitek.ru

⁴galinamil2@yandex.ru

⁵vnikop@gmail.com

THE DISPERSED PHASE OF HETEROPHASE MODEL FOOD SYSTEMS INFLUENCE ON LETHALITY DURING TERMINAL STERILIZATION

The paper presents the research results of the nature and factors of influence of the dispersed phase of heterophase model food systems (hereinafter FS from the English Food System) on cumulative lethality under various modes of terminal sterilization. To obtain generalized data on the effect of the properties of the dispersed phase of two-component canned products on the lethality values, regardless of the particular properties of these products, experimental studies were carried out on model FS. The dispersed phase of the model FS is styrene acrylonitrile (SAN) balls 8 mm in diameter. Dispersion media FS were chosen according to viscosity: low-viscosity – an aqueous solution of NaCl and sucrose, 1.5 % of each component, medium-viscosity – 11 % aqueous solution of sucrose and clarified apple juice restored with a content of RSV (soluble solids) 11.2 %. The choice of FS is aimed at the authenticity of their properties to the properties of real FS from heterophasic canned products (comotes from small-fruited berries, green peas). Model FS were packed in glass jars with a capacity of 190 ml, hermetically sealed with lids with a fitting for inserting a thermocouple into the jar. Model FS sterilization was simulated in a WCH-16 water thermostat under isothermal conditions with a temperature stabilization error of no more than ± 0.1 °C and subsequent cooling in water. The thermograms of the model FS were recorded by a measuring system including a thermocouple and an eight-channel automatic thermometer connected to a PC for subsequent analysis and approximation of the thermograms. The processed experimental data of studies of the sterilization process made it possible to establish the predominant effect of the dispersed phase on the nature of the heat transfer of heterophase FS, regardless of the rheological parameters of the dispersion medium. Based on the approximation of sterilization and cooling thermograms, it was found that heat transfer in such FSs is predominantly heat conductive. These results make it possible to carry out calculations and mathematical modeling of the process of thermal inactivation of target microorganisms with sufficient accuracy during the final sterilization of real heterophase FS.

Keywords: heterophase model food system, slowest heating zone, cumulative lethality, terminal thermal sterilization, approximating function

For citation: The dispersed phase of heterophase model food systems influence on lethality during terminal sterilization / B.L. Kanevskiy [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2022;(4): 172–180. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-172-180.

Введение. Изучение теплообмена в упаковках с гетерофазными консервируемыми продуктами при их финишной термической стерилизации необходимо для установления температурного режима в их наименее прогреваемых зонах (англ. Slowest heating zone SHZ) и расчета стерилизующего эффекта, обеспечивающего их микробиологическую безопасность для потребителей и стабильность при обороте [1].

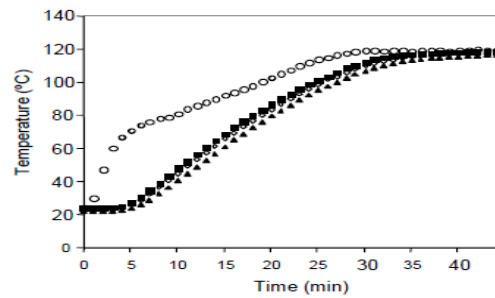
Результаты исследований гетерофазных модельных FS показывают, что SHZ локализована

в зоне первого нижнего слоя дисперсной фазы, в которой следует проводить исследования летальности [2].

Для прогнозирования изменения температуры в измельченных пищевых продуктах (рис. 1), аналогичных исследованным FS [2], в [3] по результатам прогревов предложено использование математической модели термограмм (формула (1)) и ее функциональной интерпретации для анализа теплопередачи в гетерофазных продуктах.



а

Figure 2.a: Experimental Thermal History in Cylinders.
(○) Retort, (■) 0.01 m, (◐) 0.015 m, (▲) 0.02 m

б

Рис. 1. Гетерофазные модельные системы и их термограммы в фазе нагрева:
а – модельные FS в банках по 300 мл с термопарами, исследованные в [3];
б – термограммы прогрева модельных FS по [3]

Модель температуры t FS по формуле (1), по мнению авторов [3], позволяет рассчитать t модельной FS и продолжительность стерилизации ϕ , необходимые для обеспечения инактивации целевых микроорганизмов.

Формула (1) расчета безразмерной температуры $u(\phi)$ определяет сигмовидный характер изменения температуры $t(\phi)$ таких FS при нагреве и охлаждении

$$u \Leftrightarrow \frac{t_{st}-t}{t_{st}-t_0} = t_{st} + \frac{t_p - t_{st}}{1 + \exp \frac{\phi_A - x}{d}}, \quad (1)$$

где t_{st} – температура среды в стерилизаторе, °C; t_0 – температура FS в начале процесса стерилизации, °C; x – время установления $\phi = (\phi_{st} + \phi_p)/2$, мин; d – параметр темпа изменения $t(\phi)$ при $\phi = x$, мин; ϕ_A – псевдоначальное время нагрева [4], мин.

В формуле (1) использованы параметры x , d , ϕ_A из известного «формульного» метода (англ. Formula Method – Ball&Olson) расчета летальности Болла [4] и его модификации по [5], учитывающей разный характер и темп фазы нагрева d в стерилизаторе до температуры t_{st} . Параметры можно получить только эмпирически для частных условий стерилизации теплопроводной теплопередачей, поэтому они не подходят для обобщенного расчета летальности.

На термограммах фазы нагрева (рис. 1, б) в центре банки с модельными FS выделяются два участка: первый от начала до $time = 4 \text{ min}$, на котором температура FS $t = 22 \text{ °C}$, второй с экспоненциальным ростом температуры t до $t_{st} \approx 118 \text{ °C}$ по [3]. Метод расчета режима по стерилизующему эффекту приведен в [5].

Подробное исследование летальности в близких по свойствам FS приведено в [6], в котором метод расчета летальности также основан на анализе эмпирических данных из экспериментальных прогревов FS в изотермических лабораторных и промышленных условиях с разными значениями начального участка термограмм, которые в «формульном» методе [4] относят к псевдоначальному времени ϕ_A и соответствующей ему псевдоначальной температуре t_A , и более совершенный метод с использованием функции Бесселя [7].

Эти расчеты, несмотря на сложный алгоритм, связанный с введением псевдоначальных значений ϕ_A , t_A [4], исходят из экспоненциального характера термограмм фазы нагрева FS при финишной термической стерилизации, независимо от характера теплопередачи в FS. Такая парадигма соответствует теории регулярного теплового режима, по которому проходят основные этапы нагрева и охлаждения FS [8–11].

В настоящей работе проанализирован характер термограмм изотермического нагрева и охлаждения трех гетерофазных FS при $t_{st} = \{75, 80, 85, 90, 95\} \text{ °C}$.

Цель исследований – получить и проанализировать экспериментальные данные температуры и летальности в наименее прогреваемой зоне (SHZ) гетерофазных модельных FS при изотермической стерилизации для установления функциональных зависимостей температуры $t(\phi)$ FS и летальности $F(t)$.

Задачи: установление значений динамических характеристик и тепловой инерции гетерофазных FS в стеклянных банках для определения характера процесса теплопередачи в них

при термообработке и использования данных в расчетах термоинактивации и режимов финишной стерилизации целевых микроорганизмов в гетерофазных FS.

Объекты и методы. Объектами исследования были модельные FS, в которых дисперсная фаза – шары из стиролакрилонитрила (англ. Styrene-acrylonitrile SAN) Ø8 мм с плотностью $\rho = 1,67 \text{ г/см}^3$, теплоемкостью $C = 2000 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ и теплопроводностью $\lambda = 0,13 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$.

Для сравнения влияния свойств дисперсионной среды в исследованиях использовали пищевые жидкости с различной вязкостью μ : маловязкий водный раствор концентрацией по

1,5 % сахара и соли (FS1), сок яблочный осветленный восстановленный для детского питания с 11,2 % $\rho_{\text{св}}$ (FS2) и сахарный сироп с 11 % $\rho_{\text{св}}$ (FS3). Модельные FS дозировали в стеклянные банки вместимостью нетто 190 мл с венчиком горловины III типа, где масса шаров в каждой модельной системе составляла 174,4 г, а дисперсионную среду добавляли в банки до общего объема FS 190 мл.

Измерения температуры FS в экспериментах проводили игольчатой термопарой Ellab Ø1,2 мм градуировки МК(Т) с фиксированной высотой h ее нижнего конца от дна банки по оси (рис. 2).

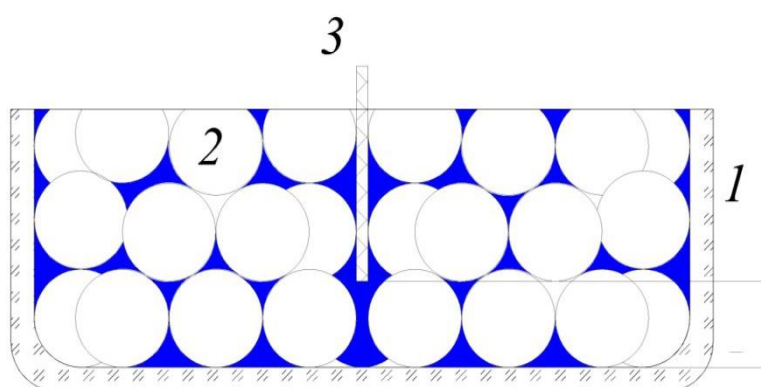


Рис. 2. Банка с модельной FS и термопарой:
1 – банка 190 мл; 2 – шары NAS; 3 – термопара Ø1,2 мм

Эта высота $h = 7 \text{ мм}$ (рис. 2) соответствует локализации SHZ в указанной банке при стерилизации FS1 ÷ FS3 [2]. Кроме этого, необходимо расположить измерительную часть термопары 3 (рис. 2) в пространстве между шарами 2, не касаясь их, исключив погрешность теплоотвода от термопары к шарам. Высота свободного пространства в банке до крышки составляла 20 мм. Регистрировали температуру FS в SHZ восьми-канальным автоматическим термометром Ellab STF 9008 с погрешностью $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ и дискретностью по времени 30 с, подключенным через COM порт к PC.

Предварительно термостатированные при $t_0 = 30 \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ банки с FS1 ÷ FS3 нагревали при пятикратной повторности в водяном циркуляционном термостате WCH-16 с постоянными значениями температуры $t_{\text{ст}} = \{75, 80, 85, 90, 95\} \text{ }^\circ\text{C}$ в

течение 20 мин и немедленном охлаждении в непроточной воде 10 мин при температуре охлаждающей воды $t_w = 21 \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Математическую обработку экспериментальных данных прогрева и охлаждения FS проводили с использованием ПО Ellab, программы аппроксимации графиков Table Curve 2d v.5.01 (SYSTAT SoftwareInc) [12].

Результаты и их обсуждение. В результате экспериментальных прогревов и обработки термограмм получены средние значения $t(\phi)$ по выборкам из прогревов в пятикратной повторности трех FS при изотермическом нагреве в одинаковых условиях, с заменой образцов заливки модельных FS при каждом прогреве.

Термограммы FS1 при разных $t_{\text{ст}}$ можно разделить на 4 однотипные области (рис. 3).

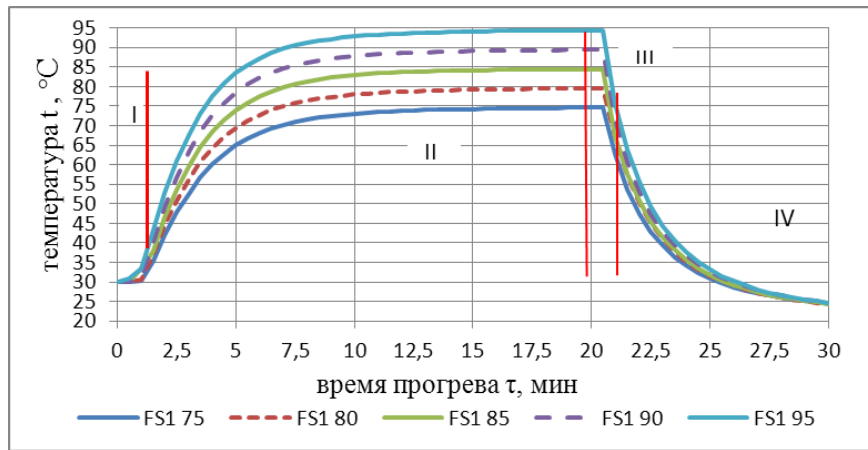


Рис. 3. Термограммы по средним значениям температуры FS1 t в SHZ ($h = 7$ мм) из 5 прогревов при различных t_{st}

Первая обозначена (I), от погружения FS1 в термостат при $\phi = 0$ до $\phi \approx 1$ мин. В области (I) $t(\phi) = t_0 = \text{const}$, что соответствует иррегулярному тепловому режиму начала прогрева [13].

Вторая область (II) при $\phi = 1 \div 20$ мин $\forall t_{st}$, в ней термограммы представляют собой почти идеальные экспоненты с постоянной времени $T = 2,468$ мин, рассчитанной аппроксимацией значений $t(\phi)$ в этой области при помощи программы Table Curve 2. Эти части термограмм соответствуют модели регулярного теплового режима [13] при теплопроводном прогреве в FS.

Формы областей I и II термограмм аналогичны приведенным термограммам с другими модельными FS, содержащими шары из другого материала и разных размеров, другую дисперсионную среду и другие размеры упаковки [3]. Это означает, что основу полученных моделей

процесса теплопередачи можно распространить на гетерофазные FS с аналогичным составом компонентов и упаковки [13].

Третья область (III) $\phi = 20 \div 21$ мин, начинается на двадцатой минуте при переносе банки с FS1 из термостата в охлаждающую воду с $t_w = 21^\circ\text{C}$. Эта область, как и (I), при нагреве соответствует иррегулярному тепловому режиму при $t \approx \text{const}$, близкой к t_{st} [13].

Четвертая область (IV) $\forall \phi \geq 21$ мин, экспоненциального снижения t и также соответствует модели регулярного теплового режима охлаждения тела теплопроводностью [13]. Независимо от начального перепада $t_{st} - t_w$ конечная температура t FS при $\phi = 30$ мин, $t_{30} \approx 24,5^\circ\text{C}$, что указывает на характерную роль температуры FS в исследованиях термического эффекта стерилизации, а не летальности F .

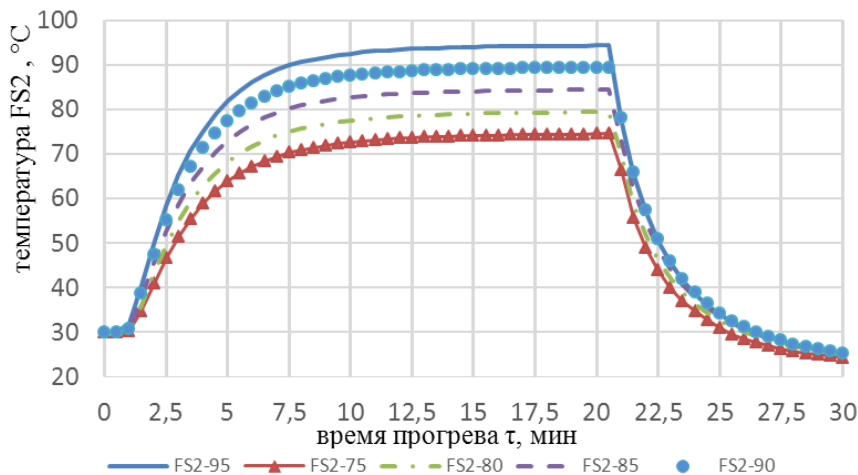


Рис. 4. Термограммы по средним значениям t в SHZ ($h = 7$ мм) из 5 прогревов гетерофазной FS2 при различных t_{st}

Приведенные на рисунке 4 термограммы прогрева FS2 также можно разделить на четыре аналогичные области с такими же, как и у термограмм FS1 (рис. 3), количественными параметрами, несмотря на то, что дисперсионная среда FS2 – это сок яблочный осветленный восстановленный с содержанием $\rho_{св}$ 11,2 %, по сравнению с FS1, у которой содержание $\rho_{св}$ дисперсионной среды равно 2,5 %, меньшее значение плотности ρ ($\rho_{сокa} = 1,05 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{FS1} = 1,025 \text{ кг/м}^3$ при температуре 30 °C) и вязкости μ .

Термограммы прогрева FS3 аналогичны термограммам модельных FS1 и FS2 за исключением «зубца» температуры величиной $\Delta t = +0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ в начале фазы охлаждения, который обусловлен незначительными механическими колебаниями банки с FS при переносе ее из термостата в охладитель.

Аппроксимация термограмм (рис. 3, 4) для зон регулярного теплового режима II выполнялась экспоненциальной функцией, когда на термограммах отмечалось монотонное изменение $t(\phi)$. Аппроксимирующая функция $t(\phi)$ гетерофазных FS, пригодная для расчетов и моделирования, имеет вид

$$t(\phi) = t_0 + (t_{st} - t_0) \times (1 - \exp(-\phi/T)). \quad (2)$$

Показатели тепловой инерции T экспоненциальных зон термограмм FS2 в формуле (2) имеют близкие значения к аналогичным показателям FS1. Но, как и у FS1, показатель тепловой инерции зоны экспоненциального охлаждения $T_{охл} \approx 3 \text{ мин}$, что больше, чем у зоны нагрева ($T \approx 2,5 \text{ мин}$), поскольку охлаждение проводилось в спокойной воде, а нагрев в термостате с интенсивным перемешиванием воды, так как при этом коэффициент теплоотдачи от воды к банке при охлаждении меньше, чем при нагреве.

На основании средних значений выборки из пяти повторностей данных термограмм (рис. 3, 4) по формуле (3) из [1] определены значения летальностей $F(\phi)$ для модельных FS1 ÷ FS3

$$F(\phi) = \sum_0^\phi (\Delta \phi \times 10^{\frac{t - t_{ref}}{z}}), \quad (3)$$

где t_{ref} – референтное значение температуры для сравнения летальностей F , °C; z – изменение температуры t , приводящее к десятикратному изменению F , °C.

Для стерилизации FS при температурах $t_{st} \leq 100 \text{ }^\circ\text{C}$ принимали $t_{ref} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$, а $z = 15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Результаты обработки данных прогрева в пятикратной повторности для каждого значения температуры каждого вида модельной FS показаны на приведенных графиках летальностей $F(\phi)$ (рис. 5).

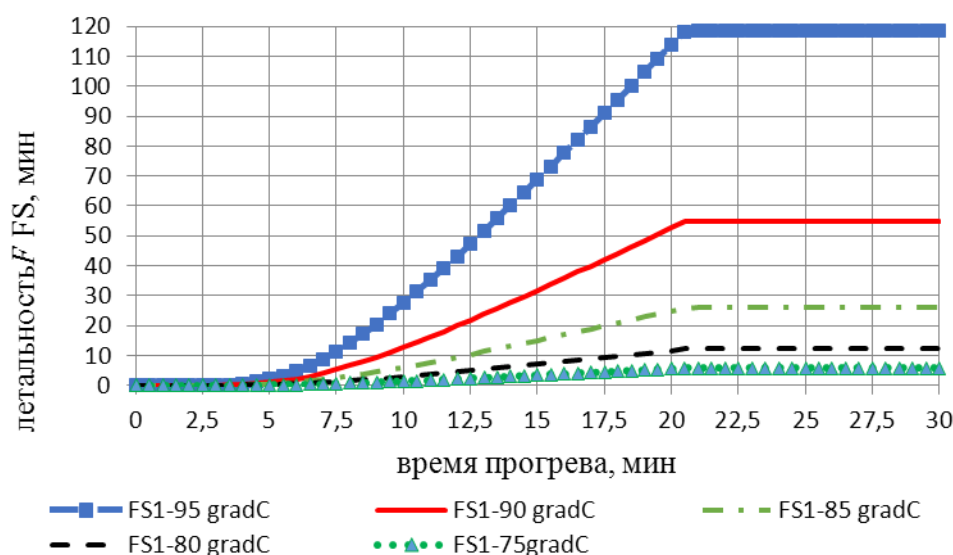


Рис. 5. Зависимости средних по выборке летальностей $F(\phi)$ гетерофазной FS1 в SHZ для разных значений t_{st}

Графики летальностей $F(\phi)$ для FS1 ÷ FS3 аналогичны и количественно отличаются только по температуре t_{st} . Из рисунка 5 видно, что кумулятивная летальность $F(\phi)$ увеличивается только в фазе нагрева, а при охлаждении постоянна, так как температура t FS при охлаждении быстро снижается из-за большой начальной разности $t(\phi) - t_w$. При этом F нелинейно увеличивается с ростом $t(\phi)$, поэтому для аппроксимации летальности $F(t)$ использована показательная функция температуры t .

Аппроксимирующая показательная функция $F(t)$ с основанием 10 феноменологически наиболее подходит для анализа, так как структурно совпадает с формулой расчета летальности (3).

При аппроксимации с $r^2 = 0,9999$ по Table Curve 2d при $z = 15$ °C функции имеют вид

$$F_{FS1} = 10^{1.074 + (t-80)/z}, \quad (4)$$

$$F_{FS2} = 10^{1.06 + (t-80)/z}, \quad (5)$$

$$F_{FS3} = 10^{1.069 + (t-80)/z}. \quad (6)$$

Функциональные зависимости летальностей $F(t)$ FS1, FS2 и FS3 (4)–(6) незначительно различаются между собой. Ниже на рисунке 6 показаны в полулогарифмических координатах сводные экспериментальные зависимости летальностей $F(t)$ FS1, FS2, FS3 от t_{st} . Они имеют вид параллельных прямых линий, как и аппроксимирующие функции (рис. 6).

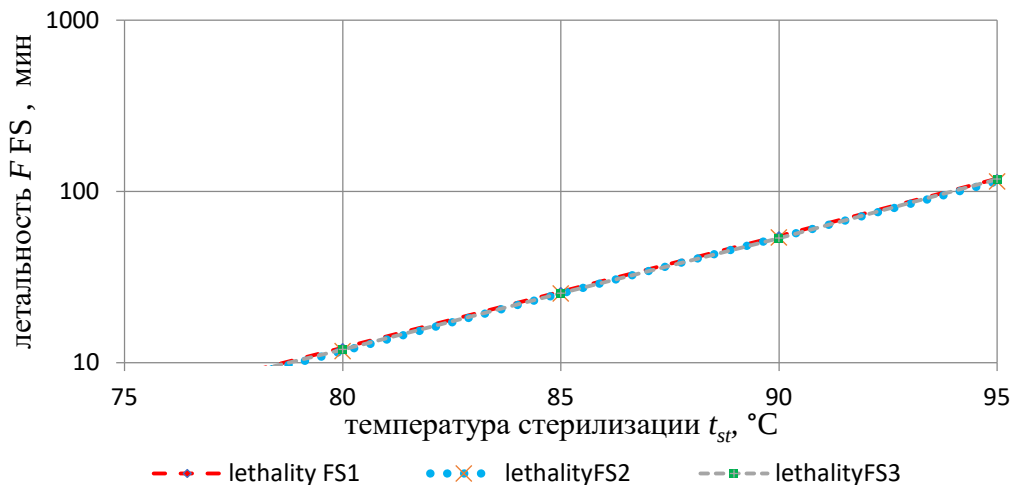


Рис. 6. Зависимость летальностей $F(t)$ в SHZ трех исследованных FS от температуры t_{st}

На рисунке 6 прямые $F(t_{st})$ для гетерофазных FS1, FS2, FS3 с неподвижной дисперсной фазой в течение всего процесса стерилизации практически сливаются. При этом дисперсионные среды в них (яблочный сок, заливка и сироп) существенно различаются по плотности ρ , вязкости η , которые в соответствии с теорией термогравитационной конвекции являются основными факторами, определяющими конвективный характер теплопередачи в FS.

Следовательно, установленный нами в экспериментах одинаковый характер термоинактивации в таких исследуемых гетерофазных FS определяется только одинаковыми дисперсными фазами (шариками), и его следует рассчитывать по закономерностям теплопроводности.

Заключение. Теплообмен в гетерофазных FS, содержащих не вовлекаемую в конвекцию дисперсную фазу из большого числа твердых частиц, зависит преимущественно от теплофизических свойств дисперсной фазы.

Характер и теплоинерционные параметры процесса термической стерилизации таких FS не зависят от свойств жидкой дисперсионной среды и характера теплообмена в ней и определяются по закономерностям теплопроводности.

Экспоненциальная функция температуры в SHZ от времени с запаздывающим аргументом с достаточной точностью моделирует термограммы гетерофазных FS при финишной изотермической стерилизации.

Эмпирическая зависимость летальности гетерофазных FS от температуры стерилизации соответствует показательной функции с основанием 10, как и формульное значение летальности.

Список источников

1. Бабарин В.П. Стерилизация консервов: справочник. М.: Гиорд, 2006. 312 с.
2. Миграция зоны наименьшего прогревания в гетерофазной модельной пищевой системе при стерилизации / В.В. Кондратенко [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2021. № 11. С. 188–197. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-11-188-197.
3. Modelling of heat transfer in glass jars with particulated foods immersed in a liquid medium / A. Lespinard [et al.] // 4th International Conference on Simulation and Modelling in the Food and Bio-Industry 2006, FOODSIM 2006.
4. Friso D. A Mathematical Solution for Food Thermal Process. Design Applied Mathematical Sciences, Vol. 9, 2015, no. 6, 255–270. DOI: 10.12988/ams.2015.411980.
5. Rogacsev V.I. Elelemiszerek aseptikus tartositasa. Scerkesztette Mezogazdasagi Kiado. Budapest, 1983, 212 p.
6. Pokudina G.P., Trishkaneva M.V., Volkova R.A. Development of pasteurization modes for high-sugar cans in continuous acting pasteurizers // Food Systems. 2019. Vol. 2. No 4. P. 48–52. DOI: 10.21323/2618-9771-2019-2-4-48-52.
7. Friso D. A New Mathematical Model for Food Thermal Process Prediction. Modelling and Simulation in Engineering. Volume 2013, pp. 1–8. Article ID 569473. DOI: 10.1155/2013/569473.
8. Mathematical Modelling and Simulation of the Thermal Processing of Anisotropic and Non-homogeneous Conduction-heated Canned Foods / J.R. Banga [et al.] // Journal of Food Engineering Vol.18, 1993 pp. 369–387.
9. Stoforos N.G. Thermal process design. Review. Food Control, 1995, Vol. 6, No. 2. pp. 81–94.
10. Dimou A., Stoforos N.G., Yanniotis S. CFD simulations in still cans filled with solid food items in liquid. 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF11). Procedia Food Science 2011, vol. 1. pp. 1216–1222. DOI: 10.1016/j.profoo.2011.09.181.

11. Dimou A., Stoforos N.G., Yanniotis S. Effect of Particle Orientation during Thermal Processing of Canned Peach Halves: A CFD Simulation. Foods 2014, vol. 3. pp. 304–317. DOI: 10.3390/foods3020304.
12. Сенкевич В.И. Научные основы режимов финишной стерилизации жидких консервируемых пищевых систем // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. Процессы и аппараты пищевых производств. 2021. № 2 (48). С. 53–67. DOI: 10.17586/2310-1164-2021-14-2-53-67.
13. Прикладная физика. Теплообмен в приборостроении / Г.М. Кондратьев [и др.] // Выдающиеся ученые университета ИТМО. СПб.: Изд-во Ун-та ИТМО, 2003. Вып. 9. С. 23–57.

References

1. Babarin V.P. Sterilizaciya konservov: spravocnik. M.: Giord, 2006. 312 s.
2. Migraciya zony naimen'shego progrevaniya v geterofaznoj model'noj pischevoj sisteme pri sterilizacii / V.V. Kondratenko [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2021. № 11. S. 188–197. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-11-188-197.
3. Modelling of heat transfer in glass jars with particulated foods immersed in a liquid medium / A. Lespinard [et al.] // 4th International Conference on Simulation and Modelling in the Food and Bio-Industry 2006, FOODSIM 2006.
4. Friso D. A Mathematical Solution for Food Thermal Process. Design Applied Mathematical Sciences, Vol. 9, 2015, no. 6, 255–270. DOI: 10.12988/ams.2015.411980.
5. Rogacsev V.I. Elelemiszerek aseptikus tartositasa. Scerkesztette Mezogazdasagi Kiado. Budapest, 1983, 212 p.
6. Pokudina G.P., Trishkaneva M.V., Volkova R.A. Development of pasteurization modes for high-sugar cans in continuous acting pasteurizers // Food Systems. 2019. Vol. 2. No 4. P. 48–52. DOI: 10.21323/2618-9771-2019-2-4-48-52.
7. Friso D. A New Mathematical Model for Food Thermal Process Prediction. Modelling and Simulation in Engineering. Volume 2013, pp. 1–8. Article ID 569473. DOI: 10.1155/2013/569473.
8. Mathematical Modelling and Simulation of the Thermal Processing of Anisotropic and Non-

- homogeneous Conduction-heated Canned Foods / J.R. Banga [et al.] // Journal of Food Engineering Vol.18, 1993 pp. 369–387.
9. Stoforos N.G. Thermal process design. Review. Food Control, 1995, Vol. 6, No. 2. pp. 81–94.
 10. Dimou A., Stoforos N.G., Yanniotis S. CFD simulations in still cans filled with solid food items in liquid. 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF11). Procedia Food Science 2011, vol. 1. pp. 1216–1222. DOI: 10.1016/j.profoo.2011.09.181.
 11. Dimou A., Stoforos N.G., Yanniotis S. Effect of Particle Orientation during Thermal Processing of Canned Peach Halves: A CFD Simulation. Foods 2014, vol. 3. pp. 304–317. DOI: 10.3390/foods3020304.
 12. Senkevich V.I. Nauchnye osnovy rezhimov finishnoj sterilizacii zhidkih konserviruemih pischevyh sistem // Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Ser. Processy i apparaty pischevyh proizvodstv. 2021. № 2 (48). S. 53–67. DOI: 10.17586/2310-1164-2021-14-2-53-67.
 13. Prikladnaya fizika. Teploobmen v priborostroenii / G.M. Kondrat'ev [i dr.] // Vydavushiesya uchenye universiteta ITMO. SPb.: Izd-vo Un-ta ITMO, 2003. Vyp. 9. S. 23–57.

Статья принята к публикации 16.02.2022 / The article accepted for publication 16.02.2022.

Информация об авторах:

Борис Львович Каневский¹, ведущий научный сотрудник лаборатории процессов и оборудования консервного производства, кандидат технических наук,

Владимир Владимирович Кондратенко², заместитель директора по науке, кандидат технических наук

Алексей Александрович Королев³, ведущий научный сотрудник

Галина Петровна Покудина⁴, старший научный сотрудник лаборатории процессов и оборудования консервного производства

Вячеслав Иванович Сенкевич⁵, старший научный сотрудник лаборатории процессов и оборудования консервного производства

Information about the authors:

Boris Lvovich Kanevsky¹, Leading Researcher at the Laboratory of Processes and Equipment for Canning Production, Candidate of Technical Sciences

Vladimir Vladimirovich Kondratenko², Deputy Director for Science, Candidate of Technical Sciences

Alexey Alexandrovich Korolev³, Leading Researcher

Galina Petrovna Pokudina⁴, Senior Researcher, Laboratory of Canning Processes and Equipment

Vyacheslav Ivanovich Senkevich⁵, Senior Researcher, Laboratory of Canning Processes and Equipment

