

Владимир Владимирович Кондратенко

Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, заместитель директора по науке, кандидат технических наук, Видное, Московская область, Россия
pauka@vniitek.ru

Борис Львович Каневский

Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории процессов и оборудования консервного производства, кандидат технических наук, Видное, Московская область, Россия
kanev72@mail.ru

Галина Петровна Покудина

Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, старший научный сотрудник лаборатории процессов и оборудования консервного производства, Видное, Московская область, Россия
galinamil2@yandex.ru

Вячеслав Иванович Сенкевич

Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, старший научный сотрудник лаборатории процессов и оборудования консервного производства, Видное, Московская область, Россия
vnikor@gmail.com

Лидия Алексеевна Борченкова

Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, старший научный сотрудник лаборатории процессов и оборудования консервного производства, Видное, Московская область, Россия
borchenkova@yandex.ru

МИГРАЦИЯ ЗОНЫ НАИМЕНЬШЕГО ПРОГРЕВАНИЯ В ГЕТЕРОФАЗНОЙ МОДЕЛЬНОЙ ПИЩЕВОЙ СИСТЕМЕ ПРИ СТЕРИЛИЗАЦИИ

Цель исследований – изучение зависимости динамики миграции SHZ в процессе стерилизации гетерофазных модельных FS в невовлекаемой в конвекционный поток дисперсной фазе от вязкости дисперсионной среды. Приведены результаты исследования миграции зоны наименьшего прогрева (англ. Slowest Heating Zone, далее SHZ) гетерофазной модельной пищевой системы (англ. Food System, далее FS) в упаковке при термической стерилизации с твердой дисперсной фазой и двумя вариантами дисперсионной среды различной вязкости. Локализация SHZ в упаковке с продуктом является основным параметром, на основе которого производится разработка и валидация режимов термической стерилизации пищевых систем с конвективным теплообменом. В качестве объекта исследования использовали модельные FS, в которых дисперсная фаза была представлена пластиковыми шариками диаметром 8 мм. Маловязкая дисперсионная среда – это заливка зеленого горошка (1,5 % водный раствор NaCl и сахарозы). Стандартный сироп компотов – 11 % водный раствор сахарозы, имеющий вязкость в 1,6 раз больше, чем у заливки, исследован как дисперсионная среда средней вязкости. FS расфасовывали в стеклянные банки (тип III-52-190). Прогревы проводили в водяном термостате в изотермических условиях при температурах воды 75; 80; 85; 90; 95 °C с погрешностью не более ±0,1 °C. Термограммы в

изучавшихся зонах модельных FS снимали с помощью термпары МК, рабочий спай которой размещался по оси банки на высоте 3; 6; 9; 12; 15 и 18 мм от дна. В результате экспериментальных исследований процесса стерилизации установлено наличие миграции SHZ в фазе нагрева модельной FS и зависимость динамики локализации SHZ от теплофизических свойств частиц дисперсной фазы, реологических параметров дисперсионной среды. Обоснована целесообразность использования для установления режима стерилизации фактора продолжительности тепловой обработки, необходимой для достижения реперных значений температуры, при определении локализации зоны SHZ в гетерофазных FS с невовлекаемой конвективными потоками дисперсной фазой, а также снижение выраженности миграции SHZ при увеличении вязкости дисперсионной среды.

Ключевые слова: зона наименьшего прогревания, миграция, термическая стерилизация, гетерофазная модельная система.

Vladimir V. Kondratenko

All-Russian Scientific Research Institute of Canning Technology – a branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbатов RAS, Deputy Director for Science, Candidate of Technical Sciences, Vidnoe, Moscow Region, Russia

nauka@vniitek.ru

Boris L. Kanevsky

All-Russian Scientific Research Institute of Canning Technology – a branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbатов RAS, Leading Researcher, Laboratory of Processes and Equipment for Canning Production, Candidate of Technical Sciences, Vidnoe, Moscow Region, Russia

kanev72@mail.ru

Galina P. Pokudina

All-Russian Research Institute of Canning Technology – a branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbатов RAS, Senior Researcher, Laboratory of Processes and Equipment for Canning Production, Vidnoe, Moscow Region, Russia

galinamil2@yandex.ru

Vyacheslav I. Senkevich

All-Russian Research Institute of Canning Technology – a branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbатов RAS, Senior Researcher, Laboratory of Processes and Equipment for Canning Production, Vidnoe, Moscow Region, Russia

vnikop@gmail.com

Lydia A. Borchenkova

All-Russian Research Institute of Canning Technology – a branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbатов RAS, Senior Researcher, Laboratory of Processes and Equipment for Canning Production, Vidnoe, Moscow Region, Russia

borchenkova@yandex.ru

**SLOWEST HEATING ZONE MIGRATION FOR HETEROPHASE MODEL
FOOD SYSTEM WHEN STERILIZED**

The aim of research is to study the dependence of the dynamics of SHZ migration in the process of sterilization of heterophase model FS in a dispersed phase that is not involved in the convection flow on the viscosity of the dispersion medium. The results of the study of the migration of the Slowest Heating Zone (hereinafter SHZ) of a heterophase model food system (hereinafter FS) in packaging during thermal sterilization with a solid dispersed phase and two versions of a dispersion medium of different viscosity are presented. Localization of SHZ in the package with the product is the main parameter on the basis of which the development and validation of thermal sterilization modes for food systems with convective heat exchange is carried out. Model FS was used as the object of research, in which the dispersed phase was

represented by plastic balls 8 mm in diameter. A low-viscosity dispersion medium is a filling of green peas (1.5 % aqueous solution of NaCl and sucrose). Standard compote syrup – 11 % aqueous solution of sucrose, having a viscosity 1.6 times higher than that of the filling, was investigated as a medium viscosity dispersion medium. FS was packaged in glass jars (type III-52-190). Warming up was carried out in a water thermostat under isothermal conditions at water temperatures of 75; 80; 85; 90; 95 °C with an error of no more than ± 0.1 °C. Thermograms in the studied zones of the model FS were recorded using an MK thermocouple, the working junction of which was located along the can axis at a height of 3; 6; nine; 12; 15 and 18 mm from the bottom. As a result of experimental studies of the sterilization process, the presence of SHZ migration in the heating phase of the model FS and the dependence of the SHZ localization dynamics on the thermophysical properties of the dispersed phase particles and the rheological parameters of the dispersion medium have been established. The expediency of using the factor of heat treatment duration necessary to achieve reference temperature values to establish the sterilization mode is substantiated when determining the localization of the SHZ zone in heterophase FS with a dispersed phase that is not entrained by convective flows, as well as a decrease in the severity of SHZ migration with an increase in the viscosity of the dispersion medium.

Keywords: slowest heating zone, migration, thermal sterilization, heterophase model food system.

Введение. Промышленную стерильность вырабатываемых консервов, гарантирующую микробиологическую стабильность и безопасность в течение установленного для них срока годности, должен обеспечивать выбор главных параметров режимов стерилизации – температуры продукта $T(t)$ и экспозиции t и давления в упаковках.

Консервы отвечают требованиям промышленной стерильности, если фактическая летальность L процесса тепловой обработки продукта равна или превышает требуемую летальность F [1], т. е. $L \geq F$.

L определяют в процессе тепловой обработки при измерении температуры продукта $T(t)$ в SHZ по формуле 1 [2], а F рассчитывают исходя из необходимого стерилизующего эффекта по формуле 2 [1]:

$$L = \int_0^{\tau} 10^{\frac{T-T_{ref}}{z}} \cdot d\tau, \quad (1)$$

$$F = D_T \cdot \left(\lg \frac{C_0 \cdot V \cdot 100\%}{S} \right), \quad (2)$$

где T_{ref} – референтная температура стерилизации для целевых микроорганизмов, °C; z – вариация температуры стерилизации при изменении времени термической смерти целевых микроорганизмов в 10 раз, °C; D_T – время десятикратного снижения численности стерилизуемых при температуре T целевых микроорганизмов (споровой суспензии), мин; C_0 – начальная кон-

центрация целевых микроорганизмов в стерилизуемой упаковке с продуктом, спор/см³; V_0 – объем продукта в единице стерилизуемой упаковки, см³; S – допустимый микробиологический брак консервов, %.

Ключевым фактором теплообмена любой гетерофазной системы с жидкой дисперсионной средой, независимо от используемого алгоритма расчетов, является возможность возникновения и параметры развития конвективных течений в процессе тепловой обработки [3–5]. Динамика и выраженность этих явлений определяется целым спектром параметров, таких как вязкость, плотность, геометрия упаковки, объемная доля частиц дисперсной фазы и др.

Теплопередача в гетерофазных FS с дисперсной фазой значительно отличается по сравнению с жидкими пищевыми продуктами, потому что наличие твердых частиц в упаковке затрудняет движение жидкости за счет естественной конвекции, в результате чего SHZ мигрирует вверх.

Авторы [6] считают, что в гетерофазных крупнодисперсных FS теплообмен теплопроводностью менее эффективен, чем теплопередача конвекцией. На рисунке 1, а схематично показано расположение SHZ для дисперсионной среды с высокой вязкостью. Она расположена, по мнению авторов [6], в частицах дисперсной фазы, лежащих по центральной оси банки выше, чем в случае с аналогичной системой, но с маловязкой дисперсионной средой (рис. 1, б).

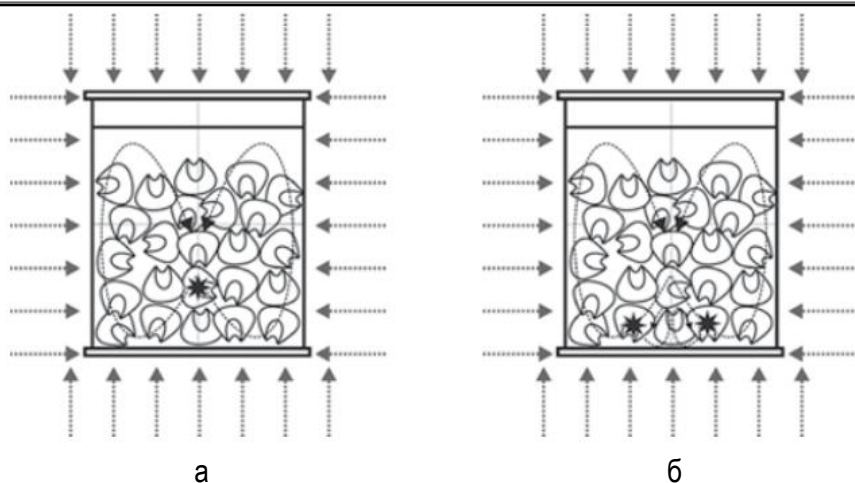


Рис. 1. Схема расположения SHZ (*) в различных FS:
 а – гетерофазные продукты с вязкой дисперсионной средой;
 б – то же с маловязкой дисперсионной средой по данным [4]

Сложность выявления и идентификации SHZ гетерофазных продуктов в упаковках при тепловой обработке в связи с наличием вероятности ее миграции и величиной погрешности приборных экспериментальных методов исследований отмечена в работах [7–10].

Приведенный анализ методов установления и валидации режимов тепловой обработки показывает, что известные процедуры расчета режимов процесса, основанные на установлении значения L по температуре T в SHZ для гетерофазных консервируемых продуктов с жидкой дисперсионной средой, не обеспечивают необходимой точности.

Цель исследования – изучение зависимости динамики миграции SHZ в процессе стерилизации гетерофазных модельных FS в невовлекаемой в конвекционный поток дисперсной фазе от вязкости дисперсионной среды.

Задачи исследования. Учитывая недостаточную обоснованность и малую вариативность установления режимов стерилизации гетерофазных FS, актуальной задачей является выбор и проверка адекватности объективного фактора, более достоверно отражающего термическое воздействие на популяцию целевых микроорганизмов в упаковке с гетерофазными FS.

Объекты и методы исследования. В качестве объекта исследования использовали модельные FS с дисперсной фазой, состоящей из шариков $\varnothing 8$ мм из стирол-акрило-нитрила (далее AS) с термостойкостью 103 °C, фактически измеренной плотностью $1,67$ г/см³, массой по

$0,4 \pm 0,05$ г. Дисперсионная среда модельных систем включала: маловязкую, имитирующую заливку зеленого горошка (1,5 % водный раствор NaCl и сахарозы), и средневязкую – 11 % водный раствор сахарозы (относительная вязкость – 1,6 по сравнению с маловязкой средой).

Исследуемую среду помещали в стеклянные банки (тип III-52-190) для детского питания по ГОСТ 32671-2014, в 10 слоев общей высотой 74 мм и высотой свободного пространства до крышки 20 мм.

Рабочий спай МК термодпары $\varnothing 1,2$ мм фиксировали на высоте 3; 6; 9; 12; 15 и 18 мм от дна по оси банки. Банку с FS, имевшей постоянную начальную температуру $30 \pm 0,1$ °C, прогревали в водяном циркуляционном термостате модели WCH-12 (Корея) при постоянной температуре со значениями 75; 80; 85; 90 и 95 °C в каждой из указанных зон измерений в трехкратной повторности. После термостатирования с экспозицией 20 мин банку помещали в холодную воду ($t_w = 21 \pm 0,1$ °C) для охлаждения на 10 мин.

Регистрировали температуру в зонах измерений автоматическим многоканальным термометром CTF9008 (Ellab) с дискретностью 30 с и передачей данных в COM-порт PC.

Для математической обработки экспериментальных данных для их аппроксимации функциями, соответствующими теплоинерционным свойствам FS, использовали ПО TableCurve 2D v.5.01 (SYSTAT Software Inc.), Wolfram Mathematica 10.4 и VBA MS Excel 2010.

Результаты исследования. Основным постулатом существующих подходов к установлению режимов термической стерилизации консервируемых FS является достаточность создания в SHZ условий гарантированной инактивации целевой микрофлоры. Базовым показателем, определяющим возможность создания таких условий, является динамика температуры FS в SHZ при стерилизации.

В гетерофазных FS с жидкой дисперсионной средой дополнительным возмущающим фактором являются твердые частицы дисперсной фазы. Наличие, размеры, объемная доля частиц дисперсной фазы предполагают нарушение ими

общей динамики тепловых конвекционных потоков, вследствие чего должны изменяться вид и выраженность локализации SHZ в процессе термической обработки [11, 12].

Анализ результатов экспериментальных данных температуры $T(t)$ в зонах FS по оси банки на разной высоте h показал неприемлемость использования показателя L в качестве первичной функции отклика для определения динамики миграции зоны наименьшего прогревания в исследуемых модельных системах в силу ее малой вариативности при изменениях температуры T_{st} и h (рис. 2).

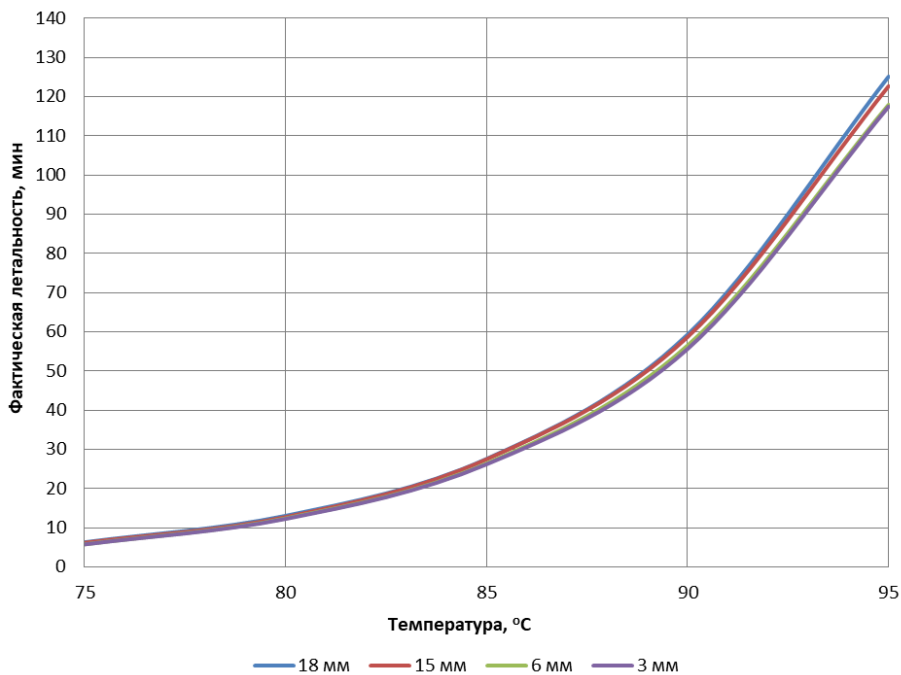


Рис. 2. Зависимости фактической летальности от температуры термостатирования в интервале значений геометрической высоты расположения терморпары

По этой причине была изучена возможность использования метода, известного как «время установления системы» [13] к определению локализации SHZ в зависимости от T_{st} . При стерилизации FS, расфасованного в герметичную упаковку, кривая $T(t)$ в каждой дискретной точке объема представляет собой S-образную функцию времени t , ограниченную двумя горизонтальными асимптотами. Для аппроксимации безразмерной температуры продукта $\theta(t)$ эмпирическая функция имеет вид

$$\theta(t) = \exp(-\exp(-f(t))), \quad (3)$$

причем

$$\theta(\tau) = \frac{T - T_0}{T_{st} - T_0}. \quad (4)$$

Для упрощения аппроксимации значения температуры переводили в безразмерную логарифмическую форму D:

$$D(\tau) = -\ln(-\ln(\theta(\tau))). \quad (5)$$

Нижнюю температурную границу принимали $T_0 = 29$ °C для всех исследованных значений T .

На основании преобразованных исходных данных численными методами была определена

на при помощи программы Table Curve аппроксимация зависимости $D(\tau)$ функцией вида

$$D(\tau) = a + b \cdot (1 - \exp(c \cdot \theta)), \quad (6)$$

где a – безразмерная константа; b и c – безразмерные коэффициенты.

При этом полное математическое описание динамики температуры прогревов T в экспериментально заданных точках представляет собой функцию T вида

$$T = \exp(-\exp(-(a+b \times (1-\exp(-c \times \tau)))))(T_{st}-T_0) + T_0. \quad (7)$$

Аппроксимирующая функция (7) имеет верхнюю горизонтальную асимптоту T_{st} , поэтому для определения продолжительности нагрева целесообразно взять реперное значение температуры, отстоящее от максимального на некоторую фиксированную величину ΔT (рис. 3), значение $\Delta T = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$.

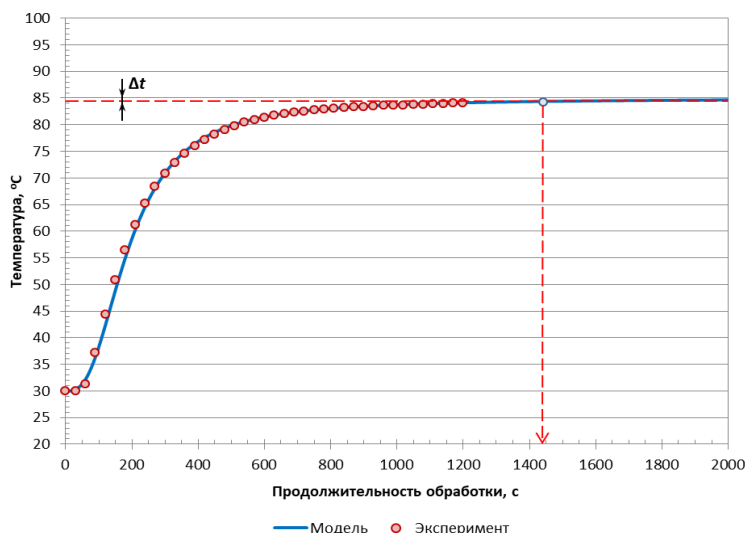


Рис. 3. Продолжительность нагрева на основании аппроксимации экспериментальных данных для реперной температуры $T = T_{st} - \Delta T$

В этом случае продолжительность нагрева, при которой в исследуемой зоне достигается температура $T_{st} - \Delta T$, рассчитывали как

$$\tau = \frac{1}{c} \ln \left[\frac{b}{a+b-D_\Delta} \right], \quad (8)$$

где
$$D_\Delta = -\ln \left(-\ln \left(\frac{T_{st}-T_0-\Delta T}{T_{st}-T_0} \right) \right). \quad (9)$$

В соответствии с принятыми допущениями геометрической высоте локализации зоны наименьшего прогревания соответствует максимум продолжительности нагрева для достижения температуры $T_{st} - \Delta T$. Данное условие соблюдается при равенстве производной функции нулю:

$$\tau' = \frac{\frac{b}{2\sqrt{h}} - c \exp(-h)}{(a+b\sqrt{h}+c \exp(-h))^2} = 0. \quad (10)$$

Численными методами были определены локализации зон SHZ для каждого экспериментального значения T_{st} . Полученное аналогичной аппроксимацией термограмм математическое описание зависимости геометрической высоты h_{SHZ} локализации SHZ имеет следующий вид:

$$h_{LHZ} = \frac{a+ct+et^2}{1+bt+dt^2+ft^3}, \quad (11)$$

где h_{LHZ} – геометрическая высота локализации зоны наименьшего прогревания, мм; T – температура FS, $^\circ\text{C}$; a – константа; b, c, d, e и f – коэффициенты.

Анализ результатов моделирования показывает, что в процессе нагревания в диапазоне от 70 до 78 $^\circ\text{C}$ имеет место незначительная миграция SHZ на $\approx 1,6$ мм вниз, после чего дальнейшее увеличение температуры не приводит к сколько-нибудь существенной смене ее локализации (рис. 4).

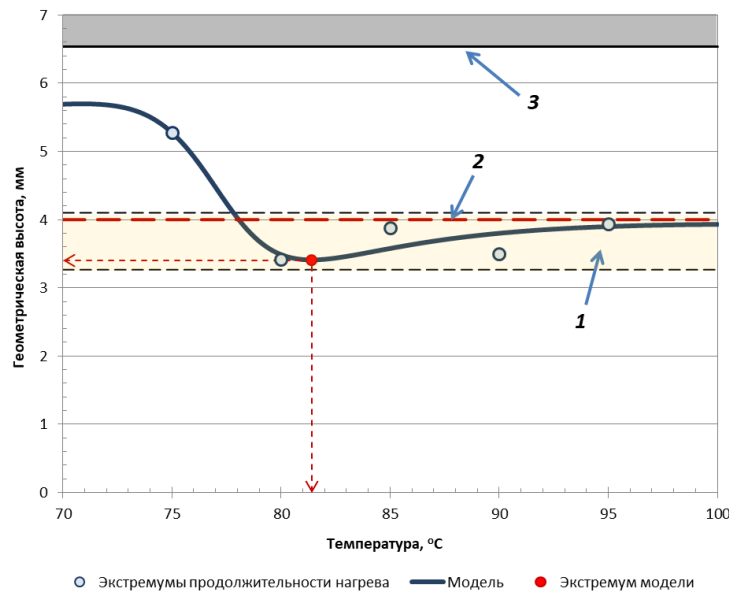


Рис. 4. Динамика изменения высоты расположения SHZ в процессе тепловой обработки:
 1 – область девиации SHZ; 2 – горизонтальная ось I слоя;
 3 – верхняя аксиальная граница ячейки, образованной тетраэдром частиц

Таким образом, искомая $h_{SHZ} = 2,53$ мм над горизонтальной осью I слоя (рис. 5). В результате при температуре 75 °C SHZ локализована в

свободной области пространства, заключенной между шариками I и II слоя вблизи вертикальной оси банки.

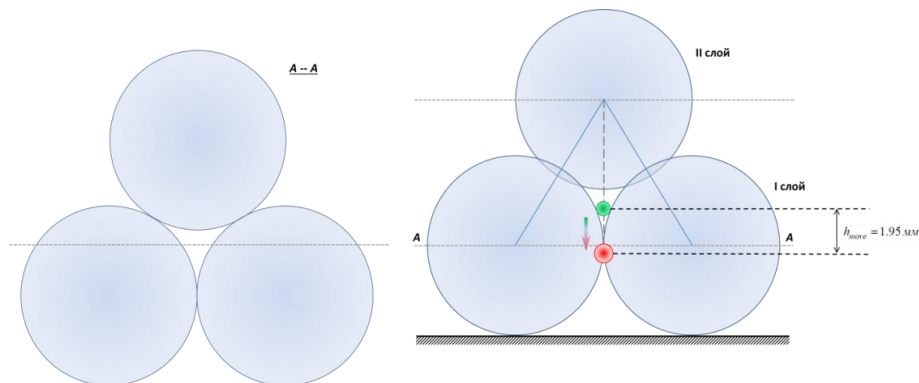


Рис. 5. Миграция SHZ в пределах слоев частиц дисперсной фазы для системы с 11 % раствором сахарозы

Математическое описание зависимости τ от h_{SHZ} для всех исследованных значений T_{st} имеет вид

$$\tau = \frac{1}{a + bh^{1,5} + ch^{2,5}}, \quad (12)$$

где a – константа; b и c – коэффициенты.

Тогда, по определению, существование SHZ для каждого значения $T(t)$ определено величиной h_{SHZ} , при которой справедливо выражение

$$\tau' = -\frac{1,5bh^{0,5} + 2,5ch^{1,5}}{(a + bh^{1,5} + ch^{2,5})^2} = 0. \quad (13)$$

Расчетные данные о локализации SHZ при разных значениях T_{st} могут быть адекватно аппроксимированы функцией вида:

$$h_{LHZ} = a + \frac{4bc^{(d+1)}d^2}{t^{(d+1)}\left(d - 1 + \frac{c^d}{t^d}[d+1]\right)^2}, \quad (14)$$

где a – константа; b , c и d – коэффициенты.

Результаты моделирования динамики миграции SHZ в процессе тепловой обработки для исследованных FS представлены на рисунке 6.

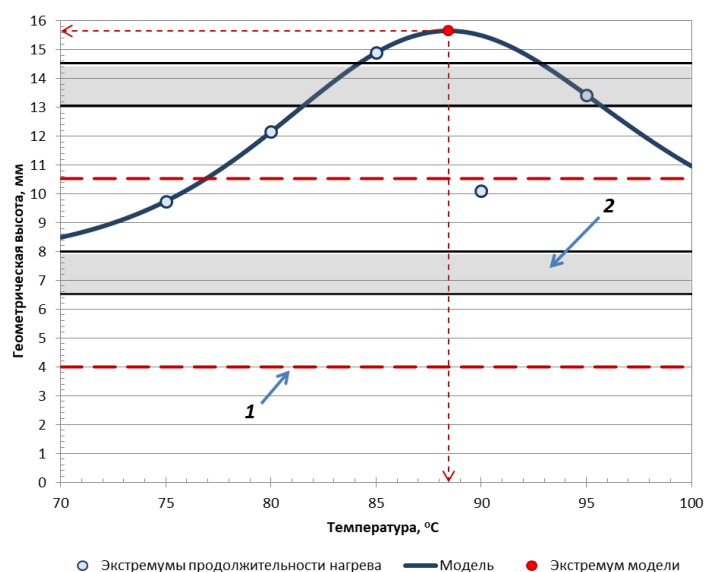


Рис. 6. Динамика миграции SHZ в процессе тепловой обработки: 1 – горизонтальная ось слоя; 2 – область суженного перехода между смежными по высоте ячейками, образованными сферическими частицами дисперсной фазы

Анализ результатов моделирования показал, что следствием замены дисперсионной среды на менее вязкую (в 1,6 раз) является значительное изменение динамики миграции SHZ при стерилизации. Так, при нижней границе исследованного температурного диапазона (75 °C) локализация SHZ смещена относительно другой FS в ячейку, образованную одной сферической

частицей дисперсной фазы I слоя, тремя – II, и одной – III слоя.

При $T_{st} \rightarrow 95\text{ °C}$ и $h \rightarrow \max$ и дальнейшей ее миграции через узкий межшаровой зазор в смежную ячейку, образованную шариком II слоя, тремя – III и одним – IV (рис. 7). После достижения $h = \max$ при $T(\tau) \approx 87\text{ °C}$ при дальнейшем увеличении $T(\tau)$ направление миграции SHZ меняется на обратное.

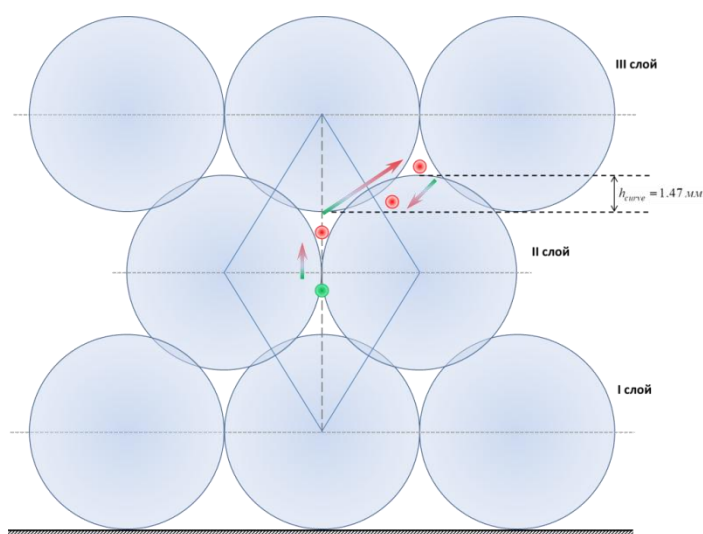


Рис. 7. Схема миграции SHZ в пределах слоев частиц дисперсной фазы FS с дисперсионной средой (1,5 % NaCl и 1,5 % сахарозы)

Таким образом, снижение вязкости дисперсионной среды в FS с не вовлекаемыми в конвекционные потоки частицами дисперсной фазы в 1,6 раз способствовало более свободному конвективному перемещению дисперсионной среды в процессе тепловой обработки. Это приводит к смещению диапазона миграции SHZ в область, вовлекающую более высоко расположенные ячейки, и увеличению интервала геометрической высоты h локализации SHZ в процессе миграции.

В результате проведенных исследований установлено, что в случае, когда дисперсность и плотность частиц твердой фазы не позволяет им быть вовлеченными в общий конвекционный поток, гетерофазная система ведет себя как ячеистая структура с суперпозицией конвективного и кондуктивного теплообмена. Поэтому диапазон миграции SHZ оказывается запертым между двумя-тремя слоями частиц дисперсной фазы, с уменьшением геометрической высоты h границ и диапазона миграции при увеличении начальной вязкости дисперсионной среды.

Выводы. Установленные закономерности миграции SHZ следует принять за основу методики определения кинетики прогревов гетерофазных FS с целью получения максимально адекватных данных для разработки режимов тепловой стерилизации со сниженной термической нагрузкой на FS.

Предложен используемый в технике измерений метод «времени установления системы» для оценки термического воздействия на популяцию целевых микроорганизмов в исследуемой зоне FS, основанный на расчете режима тепловой обработки по максимальному времени установления реперного значения температуры, зависящего от заданной температуры стерилизации T_{st} и миграции исследуемой зоны в фазе нагрева.

Список источников

1. *Бабарин В.П.* Стерилизация консервов: справочник. М.: Гиорд, 2006. 312 с.
2. *Сенкевич В.И.* Методы и параметры определения режимов стерилизации при производстве консервов // *Аллея науки*. 2018. № 9 (25). Т. 2. С. 295–302.
3. Эффективная теплопроводность дисперсных материалов с контрастными включениями / *М.И. Элов [и др.]* // *Теплофизика высоких температур*. 2015. Т. 53, № 1. С. 48–53.
4. *Holdsworth S.D., Simpson R.* Thermal Processing of Packaged Foods. Third Edition. Springer International Publishing, 2016. 366 p. DOI: 10.1007/978-3-319-24904-9.
5. *Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М.* Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1972. 382 с.
6. *Ibarz A. Augusto P.E.D.* Chapter 3. Principles of unit operations in food processing в *Quantitative Microbiology in Food Processing / Modeling the Microbial Ecology*. Edited by A. de Souza Sant'Ana. John Wiley & Sons, Ltd., 2017. pp. 90–131.
7. *Park H.W., Yoon W.B.* Computational Fluid Dynamics (CFD) Modelling and Application for Sterilization of Foods: A Review // *Processes* 2018, 6, (6), 62. DOI: 10.3390/pr 6060062.
8. *Левшенко М.Т., Каневский Б.Л.* Оптимизация расчета требуемой летальности при разработке режимов стерилизации и пастеризации гомогенных фруктовых консервов // *Актуальные вопросы индустрии напитков*. 2018. Вып. 2. С. 81–86.
9. *Pokudina G.P., Trishkaneva M.V., Volkova R.A.* Development of pasterization modes of high-sugar cans in continuous acting pasterizers. *Food systems*. 2019; 2(4): 48–52. DOI: 10.21323/2618–9771–2019–2–4–48–52.
10. *Garrote R.L., Silva E.R., Roa R.D., Ayala M.* Determining convective heat transfer coefficient during sterilisation of canned evaporative whole milk. *LWT – Food Science and Technology* № 43, 2010:724–728.
11. Исследование миграции зоны наименьшего прогревания сока яблочного осветленного в процессе тепловой обработки / *В.В. Кондратенко [и др.]* // *Вестник ВГУИТ*. 2019. Т. 81, № 4. С. 1–6. DOI: 10.20914/2310-1202-2019-4-62.10.
12. *Матвеев В.Н., Курсанов Е.А.* Вязкость и структура дисперсных систем // *Вестник МГУ. Сер. 2. Химия*. 2011. Т. 52, № 4. С. 243–276.
13. *Кондратьев Г.М.* Тепловые измерения. М.; Л.: Машгиз, 1957. 244 с.

References

1. Babarin V.P. Sterilizaciya konservov: spravochnik. M.: Giord, 2006. 312 s.
2. Senkevich V.I. Metody i parametry opredeleniya rezhimov sterilizacii pri proizvodstve konservov // *Alleya nauki*. 2018. № 9 (25). T. 2. S. 295–302.
3. 'Effektivnaya teploprovodnost' dispersnyh materialov s kontrastnymi vklyuchenyami / M.I. `Erov [i dr.] // *Teplofizika vysokih temperatur*. 2015. T. 53, № 1. S. 48–53.
4. Holdsworth S.D., Simpson R. Thermal Processing of Packaged Foods. Third Edition. – Springer International Publishing, 2016. 366 p. DOI: 10.1007/978-3-319-24904-9.
5. Gershuni G.Z., Zhuhovickij E.M. Konvektivnaya ustojchivost' neszhimaemoj zhidkosti. M.: Nauka, 1972. 382 s.
6. Ibarz A. Augusto P.E.D. Chapter 3. Principles of unit operations in food processing v Quantitative Microbiology in Food Processing / Modeling the Microbial Ecology. Edited by A. de Souza Sant'Ana. John Wiley & Sons, Ltd., 2017. pp. 90–131.
7. Park H.W., Yoon W.B. Computational Fluid Dynamics (CFD) Modelling and Application for Sterilization of Foods: A Review // *Processes* 2018, 6, (6), 62. DOI: 10.3390/pr6060062.
8. Levshenko M.T., Kanevskij B.L. Optimizaciya rascheta trebuemoj letal'nosti pri razrabotke rezhimov sterilizacii i pasterizacii gomogennyh fruktovyh konservov // *Aktual'nye voprosy industrii napitkov*. 2018. Vyp. 2. S. 81–86.
9. Pokudina G.P., Trishkaneva M.V., Volkova R.A. Development of pasterization modes of high-sugar cans in continuous acting pasterizers. *Food systems*. 2019; 2(4): 48–52. DOI: 10.21323/2618-9771-2019-2-4-48-52.
10. Garrote R.L., Silva E.R., Roa R.D., Ayala M. Determining convective heat transfer coefficient during sterilisation of canned evaporative whole milk. *LWT – Food Science and Technology* № 43, 2010:724–728.
11. Issledovanie migracii zony naimen'shego progrevaniya soka yablochnogo osvetlennogo v processe teplovoj obrabotki / V.V. Kondratenko [i dr.] // *Vestnik VGUIT*. 2019. T. 81, № 4. S. 1–6. DOI: 10.20914/2310-1202-2019-4-162.10.
12. Matveenko V.N., Kirsanov E.A. Vyazkost' i struktura dispersnyh sistem // *Vestnik MGU. Ser. 2. Himiya*. 2011. T. 52, № 4. S. 243–276.
13. Kondrat'ev G.M. *Teplovye izmereniya*. M.; L.: Mashgiz, 1957. 244 s.

