ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 664.8.036.62

Ахмедова М.М., Ахмедов М.Э., Демирова А.Ф., Пиняскин В.В.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ПРОГРЕВА ПРОДУКТА ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕПЛОВОЙ ОБРА- БОТКЕ

Akhmedova M.M., Akhmedov M.E., Demirova A.F., Pinyaskin V.V.

MATHEMATICAL MODELING OF HEATING RATE PRODUCT AT HIGH HEAT TREATMENT

Методы компьютерного и математического моделирования все широко применяются при изучении различных теплообменных процессов, что обеспечивают возможность изучения динамики процессов, а также вести обоснованный поиск оптимальных технологических параметров режимов тепловой обработки.

Представленная работа посвящена выявлению корреляционных зависимостей между факторами, которые оказывают наибольшее влияние на скорость нагрева продукта при высокотемпературной тепловой стерилизации в потоке нагретого воздуха, в качестве которых выбраны температурный перепад (между наиболее и наименее прогреваемыми точками) и частота вращения банок при тепловой стерилизации.

В результате обработки экспериментальных данных прогреваемости периферийного и центрального слоев компота из яблок в банке объемом 3 л при высокотемпературной тепловой обработке в потоке нагретого воздуха получено уравнение регрессии в виде полинома второй степени, с учетом эффектов парного взаимодействия указанных параметров.

Ключевые слова: математическая модель, теплообмен, процесс, температурный перепад, частота вращения, уравнение регрессии, параметр, корреляционная зависимость

Methods of computing and mathematical modeling are all widely used in the study of various heat exchange processes that provide the ability to study the dynamics of the processes, as well as to conduct a reasonable search for the optimal technological parameters of heat treatment.

This work is devoted to the identification of correlations among the factors that have the greatest effect on the rate of heating of the product at high-

temperature heat sterilization in a stream of hot air, which are chosen as the temperature difference (between the most and least warming up points) and speed cans during heat sterilization.

As a result of the experimental data warming of the central and peripheral layers compote of apples in a 3 liter pot at high-temperature heat treatment in a stream of hot air obtained by the regression equation in the form of a second-degree polynomial, taking into account the effects of pair interaction of these parameters.

Key words: *mathematical model, the heat transfer process, the temperature difference, the speed, the regression equation, the parameter correlation*

Высокотемпературная тепловая обработка является одним из инновационных методов тепловой стерилизации консервируемых продуктов [1,2,3,4,5,6]. Основными параметрами, характеризующими процесс тепловой стерилизации, является температура, которую надо поднять и поддерживать в стерилизационном аппарате, и время, в течение которого консервы подвергаются нагреванию, которые являются микробиологическими параметрами процесса стерилизации, несоблюдение которых приводит к возникновению различных видов биологического брака консервов.

Как нельзя говорить о летальном времени, не учитывая температуру стерилизации, так нельзя говорить и о температуре, не связывая со временем, необходимым для такой обработки

При тепловой стерилизации консервов общее время стерилизации ($\tau_{\text{общ}}$) является функцией от времени проникновения тепла в центр банки ($\tau_{\text{пр}}$) и летального времени ($\tau_{\text{л}}$), т.е. времени, которое требуется для уничтожения микроорганизмов находящихся в центре банки, начиная с того момента, когда достигнута заданная температура [1] .

$$\tau_{\text{общ}} = f(\tau_{\text{пр}}, \tau_{\text{л}}), \quad (1)$$

Для каждого данного вида консервов основным фактором, влияющим на летальное время, является температура продукта, и при этом зависимость между летальным временем и температурой обратная, т.е. с повышением температуры стерилизации летальное время снижается[1].

Однако, если анализировать выражение (1) с точки зрения влияния входящих в него параметров на гибель микроорганизмов, необходимо заметить, что гибель микроорганизмов происходит в течение всего времени, включая периоды нагрева и охлаждения, когда продукт, находящийся банке, имеет температуру, смертельную для микробов.

Поэтому при определении температуры стерилизации продукта необходимо исходить из норм летальности для данного вида консервов с учетом величин стерилизующих эффектов, получаемых продуктом, в различных точках банки, так как в зависимости от состояния покоя или вращения банок, а также и от частоты вращения во многом зависит величины стерили-

лизующих эффектов, достигаемых продуктом. В частности, для компотов ориентировочные нормы летальности составляют

$$A_{80}^{15} = 150 - 200 \text{ усл. мин [1].}$$

При этом, применение компьютерного моделирования для оптимизации параметров и выявления оптимальных технологических решений исследуемых процессов имеет важное практическое значение.

Методы компьютерного и математического моделирования находят все более широкое применение при изучении различных теплообменных процессов [7,8]. Эти подходы обеспечивают возможность изучения динамики процессов, а также вести обоснованный поиск оптимальных технологических режимов, профессионального управления процессом.

Цель данной научной публикации – выявить корреляционные зависимости между факторами, которые оказывают наибольшее влияние на скорость нагрева продукта при высокотемпературной тепловой стерилизации в потоке нагретого воздуха: температурного перепада (между наиболее и наименее прогреваемыми точками) и частоты вращения, при тепловой стерилизации компота в банке объемом 3 л, а также исследовать и определить область оптимальных значений для выбранных факторов, которые максимизируют показатель скорости нагрева продукта.

В качестве факторов были выбраны: температурный перепад X_1 и частота вращения тары X_2 . В качестве показателя была выбрана скорость нагрева продукта Y .

Рисунок 1 - Кривые прогреваемости (1,2) и фактической летальности (3,4) наиболее (1,3) и наименее (2,4) прогреваемых слоев продукта при высокотемпературной ротационном нагреве компота из яблок в банке объемом 3 л с частотой вращения 8 об/мин

Результаты экспериментальных исследований прогреваемости периферийного (1) и центрального (2) слоев компота из яблок в банке объемом 3 л при высокотемпературной тепловой обработке в потоке нагретого воздуха температурой 150⁰С и скоростью 8,5 м/с представлены на рисунке 1.

Как видно из рис. 1, температурный перепад между наиболее и наименее прогреваемыми точками достигает 12⁰С. К тому же существенно отличаются и величины стерилизующих эффектов, получаемых наиболее и наименее прогреваемыми слоями продукта: периферийный слой получает стерилизующее воздействие равное 183,8 усл. мин, а центральные слои - 30,8 усл. мин.

Аналогичные исследования по изучению данного процесса проведены и при других частотах вращения, при этом были выбраны следующие интервалы варьирования: для температурного перепада 2-12 °С, для частоты вращения: 8-22 об/мин.

Результаты экспериментальных данных приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Экспериментальные и теоретические значения зависимости скорости прогрева продукта от двух факторов: температурного перепада и от частоты в банке объемом 3 л

п/п опыта	Температурный перепад, °С	Частота вращения об/мин	Скорость прогрева °С	
N	X ₁	X ₂	Y _{эксп}	Y _{теор}
1	12	8	1,4	1,41
2	10	10	1,5	1,51
3	8	12	1,6	1,61
4	3,0	14	1,75	1,77
5	2,5	16	1,76	1,8
6	2,3	18	1,78	1,82
7	2,0	20	1,8	1,86
8	2,0	22	1,8	1,88

Уравнение регрессии искали в виде полинома второй степени, с учетом эффектов парного взаимодействия:

$$Y=b_0+b_1x_1+b_2x_2+ b_{11}x_1^2+b_{22}x_2^2 +b_{12}x_1x_2 \quad (2)$$

С помощью метода наименьших квадратов найдено следующее уравнение регрессии :

$$Y=0,073+0,426X_1+0,131X_2-0,019X_1^2-0,002X_2^2 -0,02X_1X_2 \quad (3)$$

Как видно из таблицы 1 теоретические значения скорости прогрева, которые рассчитаны по уравнению (3), находятся в хорошем согласии с

экспериментальными. Среднее квадратичное отклонение скорости прогрева составляет $\sigma=0,04$.

График зависимости температурного перепада между наиболее и наименее прогреваемыми точками от частоты вращения при высокотемпературной тепловой стерилизации компота из яблок в банке объемом 3 л в потоке нагретого воздуха с температурой 150°C и скорости воздушного потока 8,5 м/с представлен на рисунке 2.

Рисунок 2 - Зависимость температурного перепада между наиболее и наименее прогреваемыми слоями продукта от частоты вращения банки объемом 3 л при высокотемпературной ротационной тепловой обработке

Как видно на рис. 2, частота вращения, равная 20-22 об/мин является оптимальной частотой, так как дальнейшее увеличение частоты уже не влияет на температурный перепад между наиболее и наименее прогреваемыми слоями продукта в банке.

Зависимость скорости нагрева продукта и температурного перепада между наиболее и наименее прогреваемыми точками от частоты вращения при тепловой стерилизации компота в банке объемом 3 л представлен на рисунке 3.

Как видно на рис. 3, чем выше скорость вращения и ниже перепад температур, тем выше скорость прогрева продукта. Однако зависимость нелинейная.

Анализ уравнения регрессии (3) показывает, что на поверхности скорости нагрева продукта существует точка экстремума, которая соответствует седловой точке, т.к. собственные значения матрицы вторых производных имеют разные знаки. Точке экстремума соответствуют: частоту

вращения ≈ 15.1 об/мин, температурный перепад $\approx 3.3^\circ\text{C}$, при котором скорость прогрева продукта $\approx 1,79^\circ\text{C/мин}$.

Рисунок 3- Зависимость скорости нагрева продукта и температурного перепада между наиболее и наименее прогреваемыми точками от частоты вращения при тепловой стерилизации компота в банке объемом 3 л

Таким образом, результаты исследований можно использовать для установления оптимальных частот вращения банок при разработке новых режимов высокотемпературной стерилизации консервируемых продуктов и при проектировании новых конструкций аппаратов для высокотемпературной тепловой стерилизации.

Библиографический список:

1. Флауменбаум Б.Л., Основы консервирования пищевых продуктов. М.-1982.
2. Ахмедов М.Э., Демирова А.Ф., Ахмедов Н.М., Рахманова М.М. Способ стерилизации компота из груш и айвы. Пат. РФ №2490971.-Бюл.№24.-28.08.2013г.

3. Ахмедов М.Э., Демирова А.Ф., Ахмедов Н.М., Рахманова М.М. Способ стерилизации компота из груш и айвы. Пат. РФ №2492736.-Бюл.№26.- 20.09.2013г.
4. Ахмедов М.Э., Демирова А.Ф., Зайналова П.М-А., Рахманова М.М. Способ стерилизации компота из груш и айвы. Пат. РФ №2492731.- Бюл.№24.- 28.08.2013г.
5. Ахмедов М.Э., Демирова А.Ф., Касьянов Г.И. Рахманова М.М. Способ стерилизации компота из груш и айвы. Пат. РФ №2492730.-Бюл.№24.- 28.08.2013г.
6. Ахмедов М.Э., Демирова А.Ф., Ахмедов Н.М., Рахманова М.М. Способ стерилизации компота из груш и айвы. Пат. РФ №2492689.-Бюл.№24.- 28.08.2013г.
7. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В.//Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. –М.:Высшая школа.,1985.,327С
8. Малашенко Ю.Р., Мучник Ф.В., Романовская В.А., Садовников Ю.С.//Математические модели и ЭВМ в микробиологической практике.- Киев: Наукова Думка, 1980. 195с
9. Ахмедова М.М. //Новые режимы высокотемпературной ротационной стерилизации консервов “Компот из вишни” с использованием предварительного нагрева плодов в банках горячей водой// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Махачкала № 30 (3) 2013, 68 стр.