

На правах рукописи

Поляков Руслан Иванович

**Совершенствование и оптимизация системы контроля
процесса замораживания и качества мясорастительных
полуфабрикатов**

Специальность 05.18.12

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени к.т.н.

Санкт-Петербург - 2004

На правах рукописи

ПОЛЯКОВ Руслан Иванович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ
СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ЗАМОРАЖИВАНИЯ И КАЧЕСТВА
МЯСОРАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

Специальности 05.18.12 - Процессы и аппараты пищевых производств
05.11.13 - Приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Санкт-Петербург

2004

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном университете низкотемпературных и пищевых технологий.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Стегаличев Ю.Г.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Буянов О.Н.

доктор технических наук, профессор
Бегунов А.А.

Ведущая организация: ФГУП «Гипромясомолагропром»
г. Санкт-Петербург

Защита состоится 27 мая 2004 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.234.02 при Санкт-Петербургском государственном университете низкотемпературных и пищевых технологий по адресу: 191002, г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий.

Автореферат разослан 22 апреля 2004 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



Колодязная В.С.

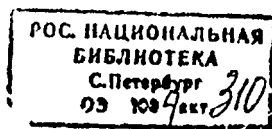
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. При производстве быстрозамороженных мясорастительных полуфабрикатов, которые являются многокомпонентными продуктами, не всегда удается обеспечить стабильное их качество. Это обусловлено тем, что сырье поступает от различных поставщиков и характеризуется недостаточной однородностью в пределах одного наименования. Существующие в настоящее время методы входного контроля сырья не позволяют отслеживать малые (в пределах допустимых диапазонов) отклонения теплофизических характеристик (ТФХ) сырья от установленных нормативных значений. Накопление этих отклонений приводит к тому, что технологические режимы замораживания, устанавливаемые в соответствии с действующими технологическими инструкциями, не соответствуют фактическому состоянию перерабатываемого сырья. Следовательно, качество процесса замораживания ухудшается, что может привести к существенному ухудшению потребительских характеристик готового продукта и перерасходу энергоресурсов.

Таким образом, актуальным является создание программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего контроль малых отклонений теплофизических характеристик сырья, расчет оптимальных технологических режимов замораживания индивидуально для каждой партии полуфабрикатов, повышение качества процесса замораживания и стабилизацию потребительских характеристик (показателей качества) готового продукта на заданном уровне в условиях неоднородности перерабатываемого сырья.

Цель и задачи диссертационной работы. Целью диссертационной работы является совершенствование и оптимизация процесса быстрого замораживания мясорастительных полуфабрикатов на базе создания программно-аппаратного комплекса в виде автоматизированного рабочего места (АРМ), обеспечивающего оперативную (непосредственно перед началом процесса) корректировку технологических режимов для стабилизации качества продукции на уровне не ниже заданного в условиях изменяющегося состава сырья, а также минимизации энергозатрат в процессе замораживания.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе необходимо



было решить следующие задачи:

- установить номенклатуру показателей качества полуфабрикатов, подлежащих стабилизации и определить факторы, влияющие на них в процессе замораживания;
- выбрать каналы управления качеством процесса замораживания применительно к конвейерному скороморозильному аппарату с воздушным охлаждением, позволяющие корректировать режим замораживания в зависимости от изменения теплофизических свойств замораживаемых полуфабрикатов;
- предложить математическую модель, ориентированную на проведение оперативных оптимизационных расчетов режима замораживания, выбрать и формализовать в виде целевых функций критерии оптимизации;
- разработать прикладное программное обеспечение в виде информационно-советующей системы, реализующее предложенные методы контроля исходного сырья и управления качеством быстрозамороженных мясорастительных полуфабрикатов;
- предложить программно-аппаратный комплекс, реализующий практическое применение математического и программного обеспечения в производственных условиях.

Научная новизна. Предложена математическая модель процесса быстрого замораживания мясорастительных полуфабрикатов, позволяющая рассчитывать оптимальные технологические режимы замораживания индивидуально для каждой партии полуфабрикатов с учетом теплофизических характеристик сырья, использованного для приготовления данной партии полуфабрикатов. Для повышения меры адекватности математической модели реальному процессу предложен способ учета малых отклонений фактических теплофизических характеристик сырья от средних значений, документированных в нормативных инструкциях, что в итоге позволяет обоснованно осуществлять выбор технологических режимов замораживания. Поставлены и решены задачи оптимизации процесса быстрого замораживания по различным критериям при условии выполнения технологических ограничений и условий, наложенных на показатели качества быстрозамороженных полуфабрикатов.

Практическая значимость. Предложена методика экспресс-оценки качества процесса быстрого замораживания, предусматривающая вариабельность технологи-

ческих режимов замораживания при гарантированном обеспечении нормативных показателей качества готовых полуфабрикатов. Разработана система оценки качественных показателей процесса быстрого замораживания, основанная на влиянии скорости замораживания на показатели качества (органолептические характеристики, степень денатурации белков, гидрофильность) замороженных полуфабрикатов. Разработана методика получения исходных данных, необходимых и достаточных для производственных условий, в которых возможен случай неполной информации о характеристиках сырья, используемого в данной партии полуфабрикатов. Разработаны специальные быстродействующие алгоритмы и создан пакет специальных прикладных программ для информационно-советующей системы управления, обеспечивающей практическую реализацию разработанных методов контроля исходного сырья и управления качеством быстрозамороженных мясорастительных полуфабрикатов. Для реализации информационно-советующей системы разработан программно-аппаратный комплекс, позволяющий, исходя из информации о фактических характеристиках сырья, осуществлять оперативные оптимизационные расчеты технологических режимов быстрого замораживания полуфабрикатов непосредственно в производственных условиях и получать достоверный прогноз качества готовых полуфабрикатов по схеме «если [сочетание режимов], то [значение качества]».

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на научной конференции профессорско-преподавательского состава СПбТАХПТ (Санкт-Петербург, СПбГАХПТ, 1995); Международной научно-технической конференции «Холод и пищевые производства» (Санкт-Петербург, СПбГАХПТ, 1996); Международной научно-технической конференции «Ресурсосберегающие технологии пищевых производств» (Санкт-Петербург, СПбТАХПТ, 1998); Всероссийской научно-технической конференции «Прогрессивные технологии и оборудование пищевых производств» (Санкт-Петербург, СПбГАХПТ, 1999); III международной научно-технической конференции «Повышение эффективности теплообменных процессов и систем» (Вологда, ВГТУ, 2002); VII международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы развития пищевой промышленности и стандартизации пищевых продуктов» (Москва, МГТА, 2002); II Международной научно-технической конференции, посвященной 300-летию Санкт-

Петербурга «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» (Санкт-Петербург, СПбГУНиПТ, 2003).

Действующий образец АРМ на базе ПЭВМ экспонировался на выставке Международной научно-технической конференции «Ресурсосберегающие технологии пищевых производств» (Санкт-Петербург, СПбГАХПТ, 1998) и отмечен дипломом выставки.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 9 печатных работ, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов по работе, списка литературы и приложений. Работа изложена на 113 страницах машинописного текста, содержит 18 рисунков, 18 таблиц, список литературы из 170 наименований, приложения на 41 странице.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Информационные исследования. Систематизированы литературные данные о современном состоянии теории, техники и технологии производства быстрозамороженных мясорастительных полуфабрикатов. Важнейшими показателями процесса замораживания являются скорость замораживания и конечная температура в центре полуфабриката, от которых зависят в большей степени физические, биохимические и биологические изменения, определяющие качество продукции. Для каждого вида полуфабрикатов существуют оптимальные значения этих показателей, при которых нежелательные изменения качества полуфабрикатов будут минимальными. Поэтому в производственных условиях, когда длительные лабораторные исследования показателей качества полуфабрикатов каждой партии весьма затруднительны, оправданным является прогнозирование качества полуфабрикатов в зависимости от значения указанных показателей процесса замораживания.

Показана необходимость варибельности технологических режимов быстрого замораживания в зависимости от изменения теплофизических характеристик сырья и применяемых рецептур. Установлено, что применяемые в настоящее время методы

контроля входного сырья не позволяют настраивать скороморозильное оборудование в соответствии с фактическими значениями ТФХ сырья, которые могут существенно отличаться от усредненных нормативных значений. Существуют различные апробированные расчетные зависимости для определения температуры и скорости движения охлаждающего воздуха, продолжительности замораживания. Однако отсутствует единая методика расчета, которая обеспечивала бы комплексное решение, позволяющее оперативно рассчитывать оптимальные технологические режимы с учетом реального состояния перерабатываемого сырья и применения гибких рецептур полуфабрикатов. По результатам информационного исследования сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Математическое моделирование процесса замораживания. Разработана параметрическая схема процесса замораживания, связывающая факторы, характеризующие мясорастительные полуфабрикаты как объект замораживания (X_1 - физическое состояние сырья, X_2 - вид овощного компонента, X_3 - процентное содержание мясного компонента, X_4 - начальная температура полуфабрикатов); технологические режимы замораживания (Y_1 - температура воздушной среды, Y_2 - скорость движения воздушной среды, Y_3 - продолжительность замораживания); показатели качества процесса (Z_1 - скорость замораживания, Z_2 - конечная температура полуфабрикатов) и показатели качества полуфабрикатов, определяемые лабораторными методами (H_1 - группа органолептических характеристик, H_2 - степень денатурации белков, H_3 - гидрофильность). Введены допущения и ограничения, позволяющие упростить математическую модель (без потери отражения основных физических факторов, определяющих процесс замораживания) и получить результат с точностью, достаточной для производственных условий.

Построена математическая модель процесса быстрого замораживания мясорастительных полуфабрикатов (на примере мясорастительных фрикаделек) в конвейерном скороморозильном аппарате с воздушным охлаждением, ориентированная на проведение оперативных (непосредственно перед началом замораживания каждой партии полуфабрикатов) оптимизационных расчетов.

В основу модели положены известные аналитические зависимости, описывающие теплообменные процессы при воздушном замораживании продуктов сфери-

ческой формы:

$$\left. \begin{aligned}
 t_{\text{кр}} &= 6,41 - 10,6W; & t_{\text{ср}} &= \frac{Z_2 - t_{\text{кр}}}{\ln(Z_2/t_{\text{кр}})}; & \omega &= 1 - \frac{t_{\text{кр}}}{t_{\text{ср}}}; \\
 \Delta\lambda &= 2,32W - 0,7; & \lambda_1 &= \lambda_2 + \omega \Delta\lambda; & C_1 &= C_2 - 2100W \omega; \\
 \alpha &= 6,16 + 4,14 Y_2; & \text{Bi}_1 &= \frac{\alpha R}{\lambda_1}; & \text{Bi}_2 &= \frac{\alpha R}{\lambda_2}; & q_{\text{II}} &= \omega W r; \\
 \tau_{\text{I}} &= \frac{R^2}{a_2} \left[\left(\frac{0,767}{\text{Bi}_2} + 0,27 \right) \lg \frac{X_4 - Y_1}{t_{\text{кр}} - Y_1} + 0,04 \right]; \\
 \tau_{\text{II}} &= \frac{q_{\text{II}} \rho}{t_{\text{кр}} - Y_1} \frac{R}{3} \left(\frac{R}{2\lambda_1} + \frac{1}{\alpha} \right); \\
 \tau_{\text{III}} &= \frac{R \rho C_1}{2} \left[\frac{R}{2\lambda_1} + \frac{\text{Bi}_1}{\alpha(\text{Bi}_1 - 1)} \left(1 - \frac{\ln \text{Bi}_1}{\text{Bi}_1 - 1} \right) \right]; \\
 Y_3 &= \tau_{\text{I}} + \tau_{\text{II}} + \tau_{\text{III}}; & Z_1 &= R/\tau_{\text{II}}.
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $t_{\text{кр}}$ - криоскопическая температура продукта, °C; W - влагосодержание продукта, %; $t_{\text{ср}}$ - средняя температура продукта в процессе замораживания, °C; Z_2 - конечная температура продукта, °C; ω - количество вымороженной воды; $\Delta\lambda$ - приращение теплопроводности при изменении температуры продукта от криоскопической до температуры, соответствующей завершению льдообразования, Вт/(м*К); λ_1, λ_2 - коэффициенты теплопроводности замороженного и незамороженного продукта соответственно, Вт/(м*К); C_1, C_2 - удельная теплоемкость замороженного и незамороженного продукта соответственно, Дж/(кг*К); α - коэффициент теплоотдачи от поверхности продукта, Вт/(м²*К); Y_2 - скорость движения охлаждающего воздуха, м; Bi_1, Bi_2 - число Био замороженного и незамороженного продукта; R - характерный размер полуфабриката (радиус), м; q_{II} - удельная теплота, отведенная от полуфабриката при изотермическом замораживании, Дж/кг; r - удельная теплота кристаллизации воды, Дж/кг; τ_{I} - продолжительность охлаждения полуфабриката от начальной до криоскопической температуры, с; a_2 - коэффициент температуропроводности незамороженного продукта, Вт/(м²*К); X_4 - начальная температура полуфабрикатов, °C; Y_1 - температура охлаждающего воздуха, °C; τ_{II} - продолжительность изотермического замораживания полуфабриката, с; ρ - плотность продукта, кг/м³; τ_{III} - продолжительность

«доохлаждения» полуфабриката от криоскопической температуры до заданной температуры в центре; Y_3 — продолжительность процесса замораживания, с; Z_1 — скорость замораживания, м/с.

Для контроля малых отклонений технофизических характеристик исходного сырья разработан метод, заключающийся в получении необходимой информации по косвенным параметрам. При этом использованы экспериментальные данные, полученные другими исследователями при разработке технологии мясорастительных фрикаделек. При определении C_2 , λ_2 , ρ , W , a_2 опытных образцов фрикаделек одновременно фиксировали следующие косвенные параметры, влияющие на перечисленные величины: физическое состояние использованного сырья, вид овощного компонента, содержание мясного компонента. Последние использованы автором при составлении параметрической схемы процесса замораживания и формализованы в виде параметров $X_1 \div X_3$ (табл. 1).

Таблица 1

Наименование параметра	Обозначение	Ед. измерения	Возможные значения параметра
Физическое состояние сырья	X_1	Код	1 – Свежие овощи, свежее мясо 2 – Замороженные овощи, свежее мясо 3 – Замороженные овощи, замороженное мясо
Вид овощного компонента фарша	X_2	Код	1 – Кабачок 2 – Цветная капуста
Содержание мясного компонента	X_3	% масс.	45÷65

Обработка экспериментальных данных методом наименьших квадратов позволила получить уравнения линейной регрессии для расчета C_2 , λ_2 , ρ , W , a_2 :

$$\left. \begin{aligned} C_2 &= -22,1 X_2 - 1,87 X_3 + 3700; \\ \lambda_2 &= 0,015 X_1 - 0,093 X_2 - 0,002 X_3 + 0,75; \\ \rho &= 3,3 X_1 + 8,8 X_2 - 0,33 X_3 + 1002,6; \\ W &= 1,3 X_1 - 1,1 X_2 - 0,27 X_3 + 84,4; \\ a_2 &= 4,2 \cdot 10^{-9} X_1 - 2,7 \cdot 10^{-8} X_2 - 0,035 \cdot 10^{-10} X_3 + 19,6 \cdot 10^{-7}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Проверка уравнений системы (2) по критерию Фишера подтвердила их статистическую значимость. Погрешность аппроксимации рассчитана по формуле $\gamma_{\text{гр}} = (|y^* - y|) / \delta y^* \cdot 100$, где y^* , y - экспериментальное и расчетное значение соответственно; $\delta y^* = y_{\text{max}}^* - y_{\text{min}}^*$ - диапазон варьирования экспериментальных значений. Среднее значение погрешности для системы (2) равно 14 %, при этом вероятность того, что для одного из уравнений $\gamma_{\text{гр}} > 20\%$ составляет 0,25, что обеспечивает проведение расчетов с точностью, достаточной для производственных условий.

Разработанный метод позволяет получить для расчета исходные данные, необходимые и достаточные в производственных условиях, без проведения инструментальных исследований сырья, которые, как известно; характеризуются значительными временными и материальными затратами и требуют наличия соответствующей лабораторной базы.

Далее сформирован набор неравенств, определяющих допустимые диапазоны варьирования параметров $X_1 \div X_4$, $Y_1 \div Y_3$, Z_1 , Z_2 :

$$\left. \begin{aligned} X_{\gamma \text{min}} &\leq X_{\gamma} \leq X_{\gamma \text{max}}, & \gamma &= 1 \dots 4; \\ Y_{j \text{min}} &\leq Y_j \leq Y_{j \text{max}}, & j &= 1 \dots 3; \\ Z_{i \text{min}} &\leq Z_i \leq Z_{i \text{max}}, & i &= 1 \dots 2. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Ограничения (3) определяют область поиска технологических режимов замораживания, исключая заведомо некорректные их сочетания при совместном решении системы уравнения (1) и (2)

Расчет технологических режимов $Y_1 \div Y_3$ по уравнениям (1) и (2) дает множество решений, находящихся внутри многофакторной области, описанной ограничениями (3). Из множества возможных решений необходимо отобрать такие, которые обеспечивают заданное качество полуфабрикатов при рациональном использовании ресурсов. Эта задача решается вводом в математическую модель критериев оптимизации. Предложены следующие критерии:

критерий скорости замораживания, при этом целевая функция имеет вид

$$L_1 = |Z_1 - Z_{1 \text{opt}}| \rightarrow \min, \quad (4)$$

где $Z_{1 \text{opt}}$ - оптимальная скорость замораживания, при которой нежелательные изме-

нения физических, биохимических и биологических свойств замораживаемых полуфабрикатов минимальны;

критерий экономии энергозатрат, описанный целевой функцией

$$L_2 = |Y_1|C_1 + Y_2 C_2 + C_3 Y_3 \rightarrow \min. \quad (5)$$

где C_1, C_2, C_3 - стоимость энергии, затраченной на поддержание температуры хладоносителя, циркуляции хладоносителя, на работу конвейера скороморозильного аппарата, руб/(уэе'ч). При выводе критерия (5) принято, что затраты энергии, (выраженные в условных энергетических единицах - уэе) на поддержание температуры и циркуляции хладоносителя и на работу конвейера скороморозильного аппарата зависят от них линейно. Например, на поддержание режима $Y_1 = -30$ °С затрачивается 30 ре, а на поддержание режима $Y_2 = 5$ м/с - 5 уэе. Такое допущение позволяет однозначно получить сочетание режимов, при котором энергозатраты на замораживание будут минимальны;

критерий интенсификации процесса замораживания, который выражен целевой функцией

$$L_3 = Y_3 \rightarrow \min, \quad (6)$$

что обеспечивает замораживание партии полуфабрикатов за минимальное время.

Разработка программного обеспечения. Программное обеспечение (ПО) создано в виде информационно-советующей системы, реализующей разработанные методы контроля исходного сырья и управления качеством процесса замораживания. Применен модульный принцип структурной организации ПО. На рис. 1 приведена блок-схема алгоритма работы расчетного модуля, содержащего математическую модель процесса замораживания. Для поиска оптимальных сочетаний технологических режимов применен метод последовательного перебора. Интерфейс разработанного ПО обеспечивает взаимодействие между оператором и информационно-советующей системой в диалоговом режиме.

Разработка программно-аппаратного комплекса Программно-аппаратный комплекс предложено реализовать в виде автоматизированного рабочего места на базе ПЭВМ для оптимизации процесса замораживания мясорастительных полуфабрикатов. Рассмотрены вопросы его эксплуатации, информационного и организаци-

онного обеспечения.

Обсуждены результаты апробации действующего образца программно-аппаратного комплекса в производственных условиях.

Разработана таблица информационного обеспечения с указанием способа и периодичности получения необходимой информации, месте и форме ее представления. Взаимодействие между АРМ и процессом замораживания как технологическим объектом управления осуществляет оперативный персонал по следующим информационным каналам:

1 — информация о характеристиках сырья, используемого для производства данной партии полуфабрикатов; 2 - информация об оптимальных управляющих воздействиях, обеспечивающих замораживание данной партии полуфабрикатов в соответствии с выбранным критерием; 3 - информация о показателях качества данной партии замороженных полуфабрикатов. Управление процессом быстрого замораживания комбинированных полуфабрикатов с использованием АРМ осуществляется следующим образом. На участке накопления и хранения сырья для каждой партии мясного и растительного сырья определяют значения характеристик X_1 (физическое состояние сырья) и X_2 (вид

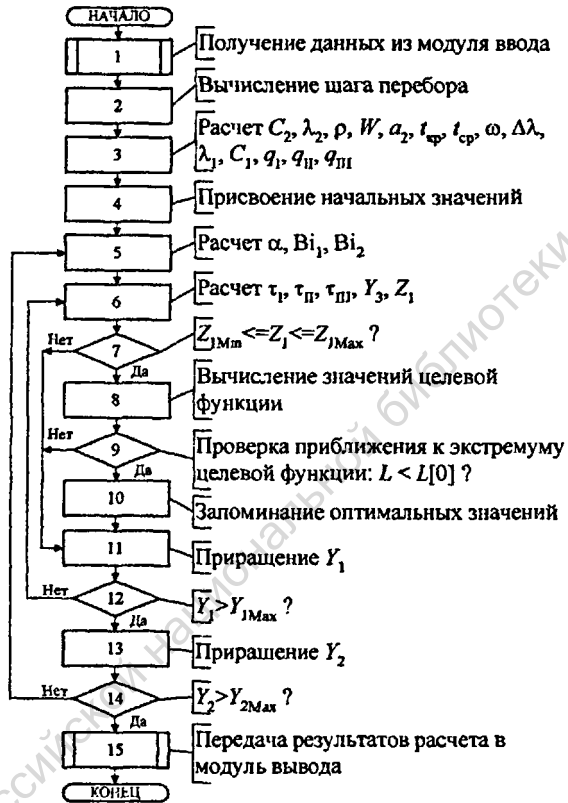


Рис. 1. Блок-схема алгоритма работы расчетного модуля

овощного компонента). Информация о характеристике X_3 (содержание мясного компонента в фарше) формируется на участке приготовления фарша. Информацию о характеристике X_4 (начальная температура полуфабрикатов) получают непосредственно перед началом замораживания партии полуфабрикатов. Перечисленные характеристики сырья составляют информационный канал 1 и являются исходными данными для расчета. Оператор АРМ вводит их в ПЭВМ в диалоговом режиме и осуществляет также выбор одного из критериев оптимизации в зависимости от производственной ситуации. По окончании расчета оператор получает значения оптимальных, с точки зрения выбранного критерия оптимизации, управляющих воздействия Y_1 , Y_2 и Y_3 для замораживания данной партии полуфабрикатов и после принятия окончательного решения реализует эти воздействия путем выставления соответствующих значений на органах управления скороморозильного аппарата (информационный канал 2). Вся входная и выходная информация по каждой партии замороженных полуфабрикатов хранится в банке данных АРМ. Адекватность математической модели проверяется путем периодического ввода в банк данных информации о показателях качества готовых полуфабрикатов, получаемых лабораторными методами (органолептические характеристики, степень денатурации белков, гидрофильность), составляющей информационный канал 3, и сопоставления ее с исходными данными и результатами расчета для соответствующей партии полуфабрикатов. Периодичность работы информационного канала 3 может соответствовать, например, периодичности обязательного выборочного контроля качества продукции, регламентированной в нормативной документации. По мере накопления статистических данных, их обработки и внесения соответствующих корректив в математическую модель, точность расчетов будет существенно повышена по сравнению с начальным периодом функционирования АРМ.

ВЫВОДЫ

1. Предложена математическая модель процесса быстрого замораживания комбинированных мясорастительных полуфабрикатов, позволяющая рассчитывать оптимальные технологические режимы замораживания индивидуально для каждой

партии полуфабрикатов с учетом теплофизических характеристик сырья, использованного для приготовления данной партии полуфабрикатов.

2. Для повышения меры адекватности математической модели реальному процессу предложен способ учета малых отклонений фактических теплофизических характеристик сырья от средних значений, документированных в нормативных инструкциях, что в итоге позволяет обоснованно осуществлять выбор технологических режимов замораживания.

3. Поставлены и решены задачи оптимизации процесса быстрого замораживания по различным критериям при условии выполнения технологических ограничений и условий, наложенных на показатели качества быстрозамороженных полуфабрикатов.

4. Предложена методика экспресс-оценки качества процесса быстрого замораживания, предусматривающая вариабельность технологических режимов замораживания при гарантированном обеспечении нормативных показателей качества готовых полуфабрикатов.

5. Для обеспечения контроля показателей качества (органолептические характеристики, степень денатурации белков, гидрофильность) замороженных полуфабрикатов в зависимости от скорости замораживания разработана система оценки качества процесса быстрого замораживания.

6. Разработана методика получения объема исходных данных, необходимых и достаточных для производственных условий, в которых возможен случай неполной информации о характеристиках сырья, используемого в данной партии полуфабрикатов.

7. Разработаны специальные быстродействующие алгоритмы и создан пакет специальных прикладных программ для информационно-советующей системы управления, обеспечивающей практическую реализацию разработанных методов контроля исходного сырья и управления качеством быстрозамороженных мясорастительных полуфабрикатов.

8. Для реализации информационно-советующей системы разработан программно-аппаратный комплекс, позволяющий, исходя из информации о фактических характеристиках сырья, осуществлять оперативные оптимизационные расчеты тех-

нологических режимов быстрого замораживания полуфабрикатов непосредственно в производственных условиях и получать достоверный прогноз качества готовых полуфабрикатов по схеме «если [сочетание режимов], то [значение качества]».

9. Проведена успешная апробация в производственных условиях разработанного программно-аппаратного комплекса на примере быстрого замораживания комбинированных мясорастительных полуфабрикатов (фрикаделек) в воздушном скороморозильном аппарате.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Поляков Р.И., Стегаличев Ю.Г. Управление технологическим процессом в пищевой промышленности с оптимизацией по критерию энергозатрат // Тез. докл. Междунар. науч.-технич. конф. «Холод и пищевые производства». - СПб.: СПбГАХПТ, 1996.

2. Поляков Р.И., Стегаличев Ю.Г. Информационное обеспечение для оптимального управления процессом замораживания мясорастительных полуфабрикатов // Тез. докл. Междунар. науч.-технич. конф. «Ресурсосберегающие технологии пищевых производств». - СПб.: СПбГАХПТ, 1998. - С. 237-238.

3. Поляков Р.И., Стегаличев Ю.Г. Аппаратурно-технологический анализ процесса производства быстрозамороженных мясорастительных полуфабрикатов с целью выбора параметров контроля и регулирования // Процессы, управление, машины и аппараты пищевой технологии: Межвуз. сб. науч. тр. - СПб.: СПбГАХПТ, 1998, - С. 94-101.

4. Поляков Р.И., Стегаличев Ю.Г. Оптимальное управление процессом восстановления молока // Процессы, управление, машины и аппараты пищевой технологии: Межвуз. сб. науч. тр. - СПб.: СПбГАХПТ, 1998. - С. 85-94.

5. Поляков Р.И., Стегаличев Ю.Г. Выбор математического описания процесса замораживания комбинированных полуфабрикатов // Тез. докл. Всероссийской науч.-технич. конф. «Прогрессивные технологии и оборудование пищевых производств». - СПб.: СПбГАХПТ, 1999. - С. 224.

6. Абугов М.Б., Поляков Р.И., Стегаличев Ю.Г. Использование методики экспертиз для оценки влияния на вкусовые показатели мороженого факторов техноло-

гического процесса // Известия Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий. - 2000. - № 1. - С. 97-101.

7. Поляков Р.И., Сабуров А.Г., Стегаличев Ю.Г. Расчет времени быстрого замораживания комбинированных мясорастительных полуфабрикатов с учетом дрейфа их теплофизических характеристик на стадии охлаждения до криоскопической температуры // Сб. тр. ГО междунар. науч.-технич. конф. «Повышение эффективности теплообменных процессов и систем». - Вологда: ВГТА, 2002.

8. Сабуров А.Г., Поляков Р.И., Селевцов А.Л. Обобщенная методика и программный комплекс для расчета систем охлаждения цилиндрических танков пивоваренной промышленности // Сб. тр. VII междунар. науч.-практич. конф. «Актуальные проблемы развития пищевой промышленности и стандартизации пищевых продуктов». - Вып. 7. - Т. IV. - М.: МГТА, 2002. - С. 72-73.

9. Иванов А.А., Баранов И.В., Сабуров А.Г., Поляков Р.И., Прошкин С.С. Аппроксимация теплофизических свойств напитков брожения и хладонносителей применительно к задачам проектирования цилиндрических танков // Сб. тр. II междунар. науч.-технич. конф., посвященной 300-летию Санкт-Петербурга «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». - Т. 2. - СПб.: СПбГУНиПТ, 2003. - С. 427-432.

Подписано к печати 200404. Формат 60x80 1/16 Бумага писчая.

Печать офсетная. Печ. л. 1,0. Тираж 80 экз. Заказ № 98.

СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

ИПЦ СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9