

УДК 664.656.3

**Разработка системы стабилизации параметров процесса охлаждения хлебобулочных изделий в автоматизированной системе управления технологическим процессом хлебопекарного производства.  
Параметрическая схема объекта управления**

Пастухов А.С. artem.pastukhov1984@gmail.com  
канд. техн. наук Данин В.Б. daninvb@mail.ru

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО  
Институт холода и биотехнологий  
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

*В работе рассматривается параметрическая схема системы автоматизации процесса охлаждения хлебобулочных изделий, осуществляемого на спиральном конвейере. Входными параметрами являются теплофизические свойства продукта, форма и масса свежеспеченных изделий. Контролируемые параметры процесса охлаждения включают в себя температуру, влажность и скорость охлаждающего воздуха, скорость движения продукта на конвейере. Выходными параметрами являются температура изделия и его масса.*

*Ключевые слова:* охлаждения хлеба, параметрическая схема, автоматизация.

**Development of the parameters stabilization system of the freshly baked bakery products cooling process in an automated process control system of the breadmaking. The parametric diagram**

Pastukhov A.S., Ph.D. Danin V.B.

*Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics.  
Institute of Refrigeration and Biotechnology  
191002, St. Petersburg, Lomonosov str., 9*

*In this study there is a consideration of the parametric diagram of the automation of the bakery products cooling process carried out by a spiral conveyor. The input parameters are the thermal properties of the product, the shape and weight of freshly baked goods. Controllable parameters of the cooling process include temperature, humidity and velocity of*

Пастухов А.С. и др. Разработка системы стабилизации параметров процесса охлаждения хлебобулочных изделий в автоматизированной системе управления технологическим процессом хлебопекарного производства. Параметрическая схема объекта управления/ А.С. Пастухов, В.Б. Данин // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств», 2013. - №2. [Электронный ресурс]: <http://www.processes.ihbt.ifmo.ru>

*the cooling air and speed of the product on the conveyor. The output parameters are the temperature of the product and its weight.*

**Keywords:** bread cooling, parametric scheme, automation.

Задача обеспечения микробиологической безопасности хлеба во время его хранения и реализации в торговой сети решается путем упаковывания его в пленку. С упакованным товаром также удобнее работать с точки зрения маркетинга. В свою очередь упаковка в пленку возможна лишь при достаточно низкой температуре продукта [1]. Если упаковывать изделия в горячем виде, то внутри упаковки неизбежно скапливается влага, что приводит к намоканию корки, ускоренному развитию плесени и потере товарного вида хлебной продукции. Более того, операция нарезки хлеба возможна лишь при температуре продукта не превышающей 37 °С. Это связано с адгезионными свойствами мякиша, который при высоких температурах не позволяет хлебу быть аккуратно порезанным. В производственной практике долгие годы хлебобулочные изделия редко охлаждались принудительными методами, а чаще всего остывали в остывочных отделениях при комнатных температурах. Такая практика хотя постепенно и вытесняется, но тем не менее довольно широко распространена в настоящее время.

Охлаждение хлебобулочных изделий в остывочных отделениях длится несколько часов. В результате чего за счет испарения определенной части влаги продукт теряет до 5 % массы. Существенными являются и потери ароматических соединений. А для некоторых сортов хлеба, потеря влаги влечет за собой снижение такой важной характеристики, как однородность консистенции мякиша. Хлебобулочные изделия черствеют и подвергаются микробной контаминации. Исследование распределения значений весомости внутренних потерь (брака) на предприятии ОАО «Пензенский хлебозавод №2» при производстве хлеба «Пеклеванного» показало, что потери из-за черствения хлеба составляют более 70% от общей величины брака данного вида изделий [2].

Различают два периода усыхания хлебобулочных изделий. Скорость усыхания наибольшая в первом периоде усыхания и намного ниже во втором периоде; поэтому основным путем снижения потерь при усыхании хлеба является сокращение длительности первого периода. В свою очередь, наиболее эффективным способом сокращения длительности первого периода является ускорение охлаждения хлеба после выхода из печи до температуры воздуха в хлебохранилище. С другой стороны

чрезмерная интенсификация процесса охлаждения приводит к увеличению скорости испарения влаги из продукта, в то время как усушка продукта строго нормирована[3].

В данной работе рассматривается параметрическая схема системы автоматизации процесса охлаждения хлебобулочных изделий, осуществляемого на спиральном конвейере. Одним из преимуществ спиральных конвейерных систем по сравнению тоннельными установками или остывочными камерами является то, что им требуется меньшие площади для охлаждения такого же количества продукции.

Разные виды производимых хлебобулочных изделий обладают разными теплофизическими свойствами и соответственно требуют различных температурно-влажностных режимов и скорости обдувающего изделия воздуха и следовательно потребляют различное количество энергии.

На рис. 1 представлены графики расчетных значений изменения температуры формового пшеничного хлеба из муки I сорта и формового хлеба из смеси ржано-пшеничной муки (40%+60%) при охлаждении при температуре, относительной влажности и скорости движения воздуха вблизи поверхности буханки 18°C, 50% и 1,5 м/с соответственно полученные при помощи системы вычислений параметров охлаждения.

После проведения ряда экспериментальных исследований на основе аналитического выражения коэффициента теплопроводности[4] была построена математическая модель охлаждения хлебобулочных изделий, показавшая высокую сходимости вычисленных значений с результатами экспериментальных исследований [5] и на основе этой модели была построена вычислительная система параметров охлаждения[6]. Система позволяет производить вычисления различных параметров связанных с охлаждением хлебобулочных изделий различного ассортимента.

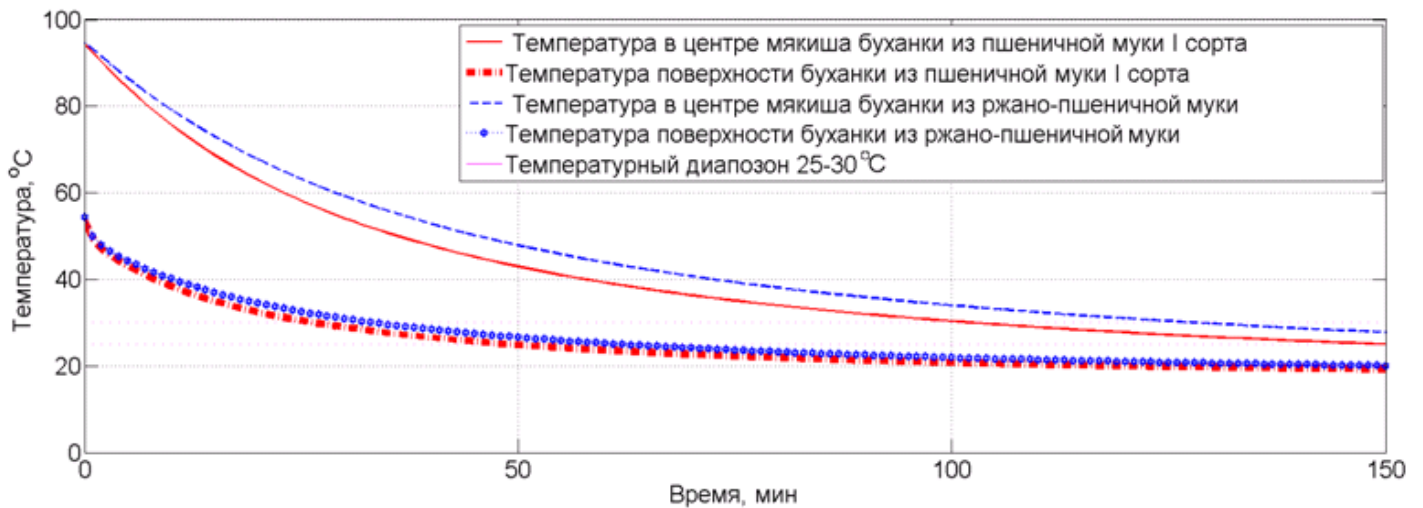


Рис.1. Изменение температуры формового пшеничного хлеба массой 500 г из муки I сорта и формового хлеба из смеси ржано-пшеничной муки (40%+60%) в процессе охлаждения. Температура воздуха вблизи поверхности буханки 18°C. Скорость движения воздуха 1,5 м/с.

Хлеб из пшеничной муки I сорта и хлеб из ржано-пшеничной при указанных условиях охлаждаются до температуры 30 °C в центре мякиша за 100 и 130 минут соответственно. Движение ленты спирального конвейера подобрано так, что продукт на ней находится 145 минут. Для формового хлеба из ржано-пшеничной муки указанные параметры охлаждения являются оптимальными. В случае же с хлебом из пшеничной муки продукт уже готовый к переходу на стадию нарезки и упаковывания продолжает подвергаться охлаждению «лишние» минут. Поэтому для увеличения энергоэффективности установки охлаждения хлебобулочных изделий целесообразно для каждого вида продукции применять охлаждение с параметрами, учитывающими теплофизические свойства при фиксированной скорости движения ленты.

Параметрическая схема спирального конвейера, как объекта регулирования представлена на Рис.2.

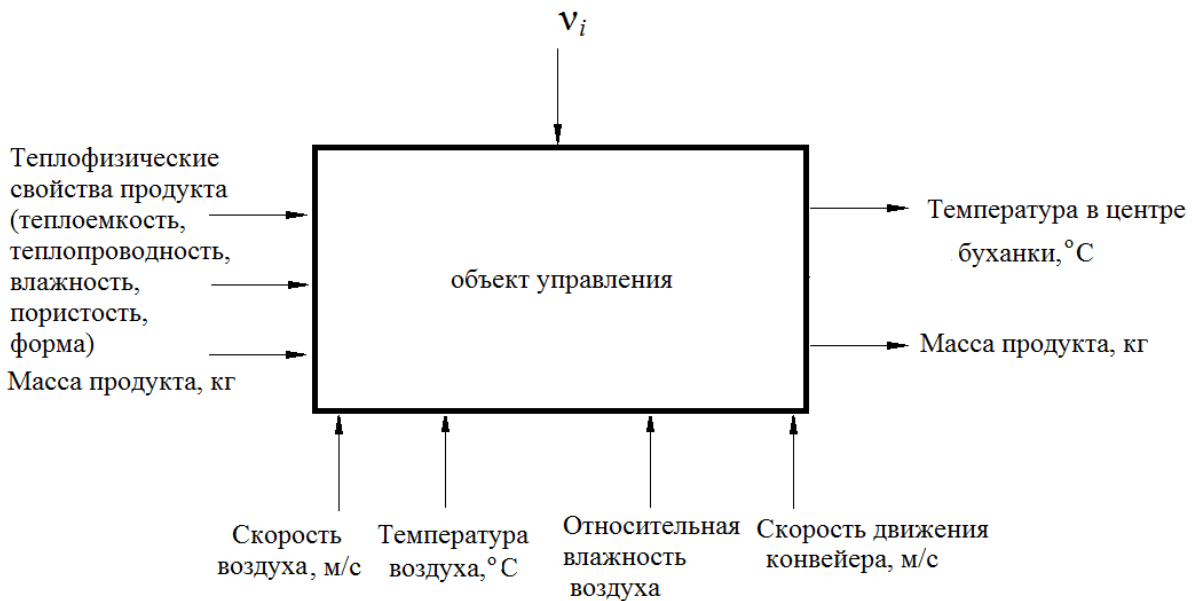


Рис.2 Параметрическая схема объекта управления

Входными параметрами являются теплофизические свойства продукта, форма и масса свежеспеченных изделий. Контролируемые параметры процесса охлаждения включают в себя температуру, влажность и скорость охлаждающего воздуха, скорость движения продукта на конвейере.

Возмущающие воздействия  $v_j$ , которые приводят к изменению регулируемого параметра  $Y$ . Воздействия  $v_j$  бывают внешними, внутренними и параметрическими. Внешними возмущениями могут быть внешние теплопритоки через наружные и внутренние ограждения спирального конвейера. Источниками внутренних возмущений являются теплопритоки от горячего свежеспеченного хлеба, осветительных приборов камеры, работающих в камере людей и электродвигателей воздухоохладителей.

Параметрические возмущения проявляются в виде изменения коэффициентов теплопередачи и теплоотдачи теплообменных аппаратов (замазывание внутренней поверхности испарителей, водяной камень в конденсаторе, ржавчина его наружной поверхности и т.д.).

Выходными параметрами являются температура изделия и его масса.

Основной задачей управления этим объектом является поддержание температуры изделия путем поддержания температуры охлаждающего воздуха вблизи поверхности изделия в заданных пределах  $t \pm \Delta t$ .

Разработанная структурная схема системы автоматического контроля и регулирования процесса охлаждения показана на рис.3.

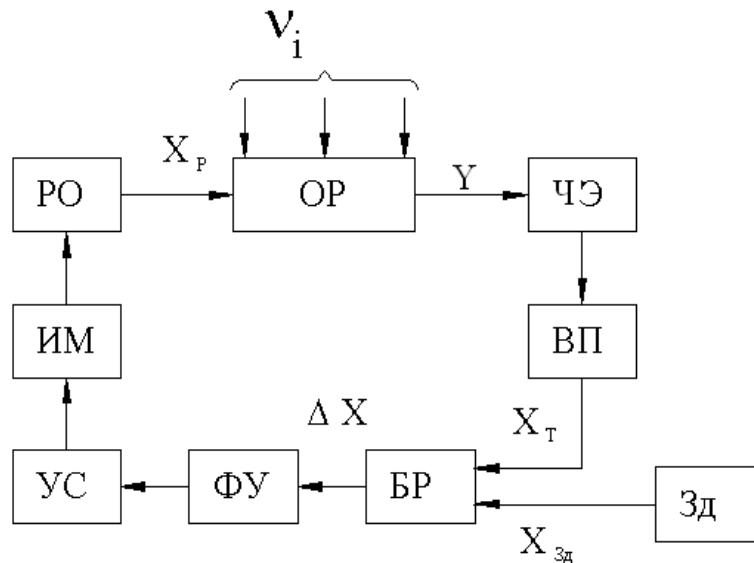


Рис.3. Структурная схема автоматического регулирования и управления.

Первичный преобразователь (Чувствительный элемент ЧЭ) - термометр сопротивления обеспечивает преобразование регулируемого параметра  $Y$  (температура поверхности продукта) в сигнал, удобный для дальнейшей обработки вторичным преобразователем (ВП). Задатчиком (Зд) при помощи разработанной вычислительной системы вычисляется и задается требуемое для данного вида продукции значение регулируемого параметра  $Y$  и он формирует заданное значение сигнала  $X_{зд}$ , который в блоке рассогласования (БР) сравнивается с текущим значением регулируемого параметра  $X_T$ , после этого на вход формирующего устройства (ФУ) поступает сигнал рассогласования:

$$\Delta X = \pm |X_{зд} - X_m|$$

В зависимости от требований к качеству регулирования с выхода ФУ поступает сигнал на усилитель (УС) для усиления мощности до значения, необходимого для срабатывания исполнительного механизма (ИМ), который через регулирующий орган (РО) обеспечивает изменение потока энергии в объект регулирования (ОР) в виде регулирующего воздействия  $X_p$ .

Для оценки степени влияния возмущений и управляющего воздействия на показатель качества, определения диапазона управляемости объекта, выбора закона

регулирования и параметров настройки регулятора в качестве дальнейшей работы будет рассмотрена структурно-параметрическая схема объекта, с оценкой функциональных зависимостей звеньев, и проведена работа по определению статических и динамических характеристик объекта.

#### Список литературы:

1. Данин, В. Б., Пастухов А.С. Механизм естественного усыхания хлебобулочных изделий. Борьба с потерей массы продукта. Хранение и переработка зерна : ежемесячный научно-практический журнал. - Днепропетровск : ООО ИА "АПК-ЗЕРНО", 2010г. № 11 с. 47-50.
2. Богомолова В. С., Бычкова А. В., Власова А. Ю, Анализ затрат на качество и причины их возникновения при производстве пищевой продукции. Материалы международной научно-практической конференции «Молодежь и наука: модернизация и инновационное развитие страны» г. Пенза, 15–16 сентября 2011 г. : в 3 ч. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2011. – 1 ч. с. 151-153.
3. Горячева А.Ф. Сохранение свежести хлеба./ Р.В.Кузьминский М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 236 с.
4. Данин В.Б., Пастухов А.С. Аналитическое выражение коэффициента теплопроводности в процессе охлаждения хлебобулочных изделий. Вестник Международной академии холода. 2011. №2. С.50-55.
5. Pastukhov A., Danin V. Model development for fresh baked bread natural and forced cooling. В сборнике: 6th Baltic Conference on Food Science and Technology: Innovations for Food Science and Production, FOODBALT-2011 - Conference Proceedings 2011. С. 209-214.
6. Данин В.Б., Пастухов А.С. Разработка вычислительной системы параметров процесса охлаждения хлебобулочных изделий на основе математического моделирования. Процессы и аппараты пищевых производств. 2012. № 1. С. 141-148.