

УДК 664.66
ББК 36.83
П-19

Пастухов Артем Сергеевич, аспирант, преподаватель кафедры Технологических машин и оборудования, факультет пищевых биотехнологий и инженерии, Институт холода и биотехнологий, Университет ИТМО; 191002, г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9; artem.pastukhov1984@gmail.com.

СТРУКТУРА СПОСОБА СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ В ПРОЦЕССЕ ОХЛАЖДЕНИЯ

(рецензирована)

В статье рассматривается процесс охлаждения хлебобулочных изделий как объект управления. Предложена структура способа стабилизации процесса, включающая в себя систему внесения корректирующих воздействий с предвычислением потенциально возможного отклонения температуры хлебобулочного изделия в процессе охлаждения на спиральной конвейерной установке. Приведено сравнение существующей и предлагаемой систем.

Ключевые слова: *охлаждение хлеба, теплообмен, процессы и аппараты.*

Pastukhov Artem Sergeevich, post graduate student, lecturer of the Department of Technological machines and equipment, Faculty of food biotechnologies and engineering, Institute of cold and biotechnologies, ITMO University; 191002, St. Petersburg, 9 Lomonosov St.; artem.pastukhov1984@gmail.com.

STRUCTURE OF THE WAY OF BAKERY PRODUCTS TEMPERATURE STABILIZATION IN THE COOLING PROCESS

(reviewed)

In the article the process of cooling of bakery products has been considered as an object of management. The structure of the way of stabilization of the process including system of introduction of the correcting influences with precalculation of potentially possible deviation of temperature of a bakery product in the cooling process on spiral conveyor installation has been offered. Comparison of the existing and offered systems has been given.

Keywords: *cooling of bread, heat exchange, processes and devices.*

Одним из способов снижения величины усушки хлебобулочной продукции является ускорение охлаждения изделий сразу после выпечки [1]. Процесс охлаждения свежевыпеченного хлеба является сложным многофакторным объектом, в котором в непрерывном потоке происходят тепло- и массообменные процессы [2], [3]. Поэтому при подготовке систем управления подобными комплексами важно принимать во внимание аппаратурно-технологические особенности [4].

С учетом присутствия внешних возмущений был принят способ стабилизации процесса по нескольким каналам воздействия [5, 6]. Структура предлагаемого способа стабилизации содержит систему поправляющих воздействий по нескольким каналам с учетом величины текущего значения температуры изделия с предвычислением потенциально возможного отклонения температуры свежевыпеченного продукта во время охлаждения на конвейерной установке спирального типа. При этом, формирование величины стабилизирующих воздействий определяется по температуре поверхности хлебобулочных изделий с учетом теплотехнических свойств, формы и параметров охлаждения свежевыпеченного изделия [7, 8].

Всё множество факторов, определяющих процесс охлаждения хлеба, показано на рис. 1 [9].

Выбор многоканальной структуры системы стабилизации процесса охлаждения хлебной продукции, привел к необходимости разработки математического описания, позволяющего вычислить ожидаемого отклонения температуры охлаждаемого изделия [9]. В основу математической модели легли второй закон Фурье для теплопередачи и закон Фика для массопередачи [10]. Начальные и граничные условия были получены в результате экспериментов с хлебом, приготовленным в лаборатории в соответствии с рецептурой (табл. 1) и технологическим процессом (табл. 2).

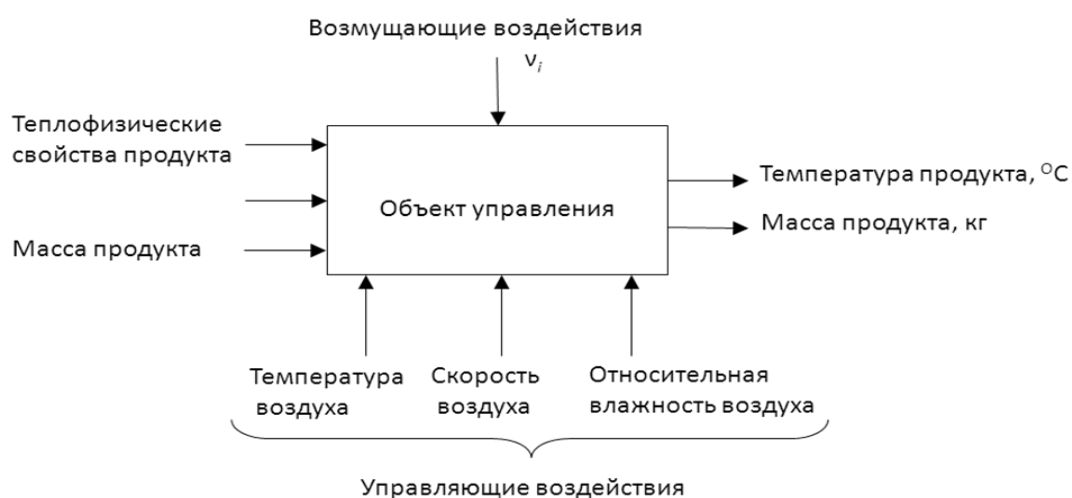


Рисунок 1. Параметрическая схема объекта управления

Таблица 1 - Рецептура хлеба

Ингредиент	Масса, г
Мука	100,0
Соль	2,0
Дрожжи	7,5
Сахар	5,0
Хлебопекарная смесь	1,0
Сухое молоко	4,0
Вода	55,0
Жир	5,0

Таблица 2 - Технологический процесс производства хлеба

Операция	Примечание
Замес теста	100 мин. ⁻¹ : 2 мин. 200 мин. ⁻¹ : 8 мин.
Предварительная расстойка	15 мин. при 20,1°C
Деление	На куски по 350 г
Округление	Вручную
Формовка в формы, мм	100×100×300
Окончательная расстойка	60 мин. при 33,5°C
Выпечка	25 мин. при 190°C

На рисунке 2 представлены экспериментальные и вычисленные при помощи разработанной математической модели значения изменений температуры в центре мякиша и на поверхности буханки во время охлаждения изделия. Из графиков видно, что модель показала хорошую сходимость результатов.

В свою очередь, результаты оценки аппаратурных параметров процесса показали возможность применения многоканального внесения поправочных воздействий, обеспечивающих стабилизацию температуры на заданных пределах и необходимую синхронизацию всего оборудования технологической линии производства, охлаждения, нарезки и упаковывания хлебобулочных изделий [11]. Управление процессом охлаждения при этом должно способствовать выполнению основной задачи – оперативной стабилизации температуры готового продукта [12]. В ряде случаев совместное влияние всех или ряда неуправляемых факторов приводит к отклонению (превышению) температуры готового продукта до 6°C , что заставит производителя делать паузу между операциями охлаждения и нарезки/упаковки хлебобулочных изделий, так как последние операции возможны при температуре продукта не превышающей 37°C в центре мякиша. Возможный уровень воздействия управляемых факторов обеспечивает изменение температуры в пределах до 14%. Учитывая, что возможное суммарное воздействие всех управляемых факторов, приблизительно в два раза превышает воздействие неуправляемых, то гарантированно обеспечивается компенсация отклонения температуры продукта.

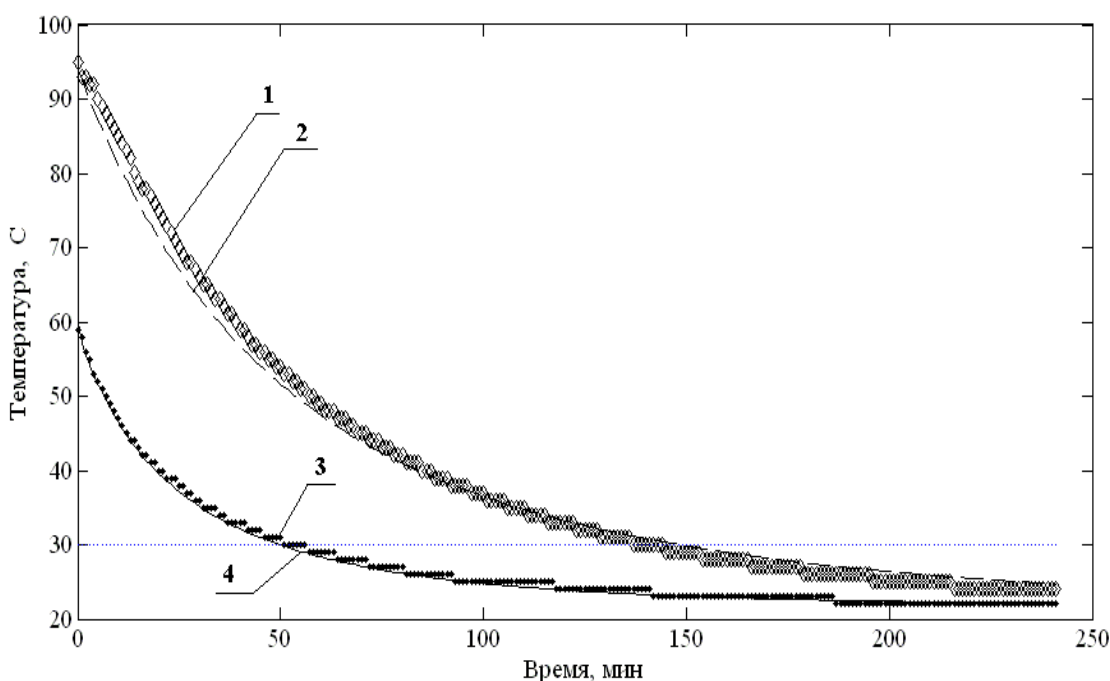


Рисунок 2. Экспериментальная (1) и расчетная (2) температуры в центре буханки и экспериментальная (3) и расчетная (4) температуры на поверхности буханки во время охлаждения при температуре 22°C . Скорость воздуха $0,5 \text{ м/с}$.

Реализовать данные операции позволяет структурная схема, которая показана на рис. 3. Основу структурной схемы составляет комплекс управления. По результатам оценки технологических параметров процесса, теплофизических свойств, формы и массы охлаждаемых изделий и температуры поступающего на охлаждение изделия комплекс рассчитывает ожидаемое отклонение температуры в центре изделия. По значению сигнала первичного преобразователя температуры на поверхности изделия управляющий комплекс рассчитывает текущую температуру внутри изделия и задает необходимые поправляющие воздействия сразу по каналам температуры и скорости воздуха, которым обдувается продукт. В процессе охлаждения при отклонении текущей температуры охлаждаемых изделий от заданного значения комплекс управления также вносит управляющие воздействия.

В применяемой в настоящее время системе в случае повышения температуры охлаждаемого продукта, обусловленного возникновением положительного возмущающего воздействия, оператор вносит очередные управляющие воздействия, как правило, по двум каналам управления: уменьшает скорость движения конвейерной ленты и увеличивает скорость вращения вентиляторов воздухоохладителей. Уровни очередных поправок по каналам, определяются с таким расчетом, чтобы каждый канал управления независимо от другого мог обеспечивать снижение температуры продукта до заданного значения.

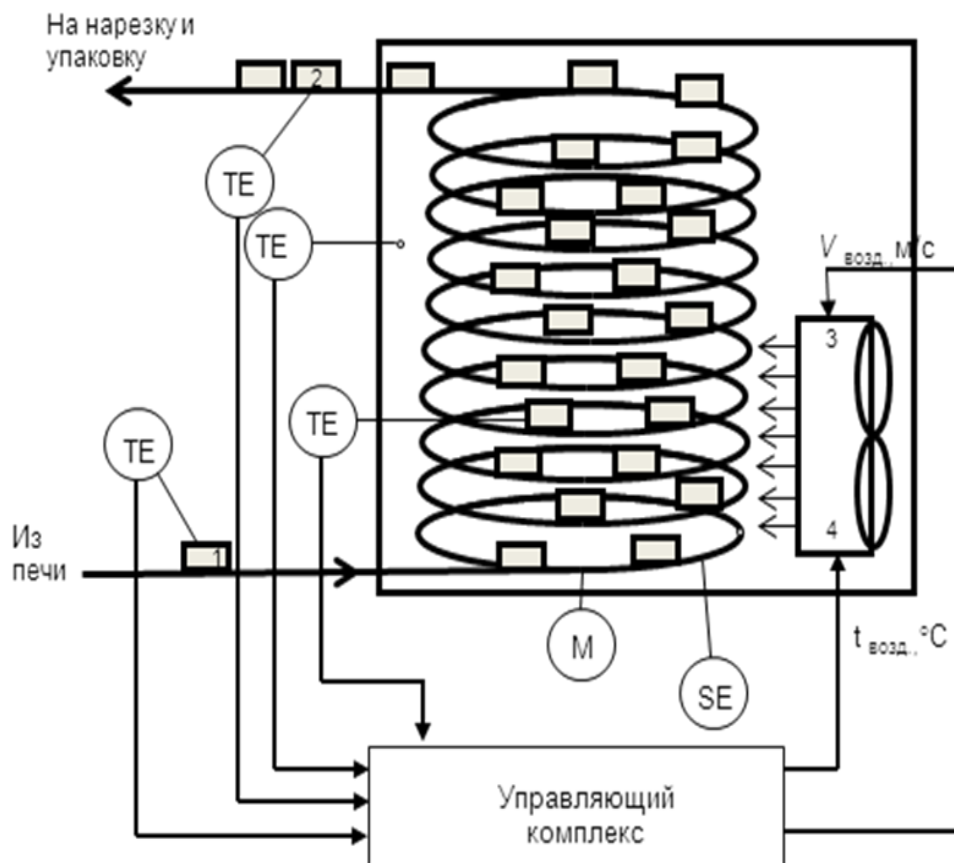


Рисунок 3. *Схема работы структуры стабилизации температуры хлебобулочных изделий в процессе их охлаждения*

Уменьшение скорости движения конвейерной ленты приводит к снижению температуры продукта из-за увеличения времени пребывания изделий зоне охлаждения. Увеличение скорости обдувающего продукт воздуха также приводит к снижению температуры изделий с задержкой, обусловленной временем запаздывания управляющего воздействия и выразится в снижении температуры продукции ниже заданного значения, что вынудит оператора увеличить скорость движения конвейера, что отрицательно скажется на синхронизации работы участков охлаждения, нарезки и упаковывания хлебобулочных изделий.

Предлагаемая система обеспечивает внесение предвычисляемых поправочных воздействий по двум каналам управления: температуре обдувающего продукт скорости и его скорости. Для поиска оптимальных комбинаций значений управляющих поправок применен метод итераций. Данные поступают в управляющий комплекс в автоматическом режиме либо их вводит оператор в режиме диалога. По окончании расчета полученные значения корректирующих воздействий направляются на соответствующие исполнительные механизмы, а также на пульт оператору, который при необходимости также может внести управляющие изменения.

Информация, полученная во время охлаждения каждой партии свежеспеченных хлебобулочных изделий, сохраняется в базе данных управляющего комплекса. Разработанное математическое описание и программный код позволяют осуществлять стабилизацию температуры хлебобулочных изделий широкого ассортимента в процессе их охлаждения.

Литература:

1. Пастухов А.С., Данин В.Б. Современные методы борьбы с усушкой хлебобулочных изделий // Известия СПбГУНиПТ. 2006. №1. С. 88-90.
2. Анализ аппаратурно-технологических факторов процесса охлаждения хлебобулочных изделий / А.С. Пастухов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Процессы и аппараты пищевых производств. 2014. №3. С. 205-216.
3. Пастухов А.С., Данин В.Б. Процесс конвективного охлаждения хлебобулочных изделий как объект исследования // Известия Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий. 2008. №2. С. 17-18.
4. Балюбаш В.А., Алешичев С.Е., Добряков В.А. Совершенствование систем управления аппаратурно-технологическими комплексами пищевой промышленности // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Процессы и аппараты пищевых производств. 2012. №1.
5. Пастухов А.С., Данин В.Б. Общие сведения об охлаждении хлеба // Известия Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий. 2007. №1. С. 37-41.
6. Данин В.Б., Пастухов А.С. Механизм естественного усыхания хлебобулочных изделий. Борьба с потерей массы продукта // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Процессы и аппараты пищевых производств. 2009. №1. С. 1-8.
7. Данин В.Б., Пастухов А.С. Аналитическое выражение коэффициента теплопроводности в процессе охлаждения хлебобулочных изделий // Вестник Международной академии холода. 2011. №2. С. 50-55.
8. Пастухов А.С., Данин В.Б. Разработка системы стабилизации параметров процесса охлаждения хлебобулочных изделий в автоматизированной системе управления технологическим процессом хлебопекарного производства. Параметрическая схема объекта управления // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. №2. С. 22.
9. Pastukhov A., Danin V. Model development for fresh baked bread natural and forced cooling // 6th Baltic Conference on Food Science and Technology: Innovations for Food Science and Production, FOODBALT-2011. Conference Proceeding. 2011. P. 209-214.
10. Данин В.Б., Пастухов А.С. Поступление хлебобулочных изделий на участок охлаждения. Оптимизация на основе модели системы массового обслуживания // Вестник Международной академии холода. 2014. №3. С. 61-63.
11. Pastukhov A. Automatic control and maintaining of cooling process of bakery products // Agronomy Research. 2015, Vol. 4, №13. P. 1031-1039.
12. Данин В.Б., Пастухов А.С. Разработка вычислительной системы параметров процесса охлаждения хлебобулочных изделий на основе математического моделирования // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Процессы и аппараты пищевых производств. 2012. №1. С. 22.

Literature:

1. Pastukhov A. S., Danin V. B. Modern methods of fight against shrinkage of bakery products//News of SPtbSUNPT. 2006. No. 1. P. 88-90.

2. *Analysis of hardware technology factors of the process of cooling of bakery products/A.S. Pastukhov//SRI ITMO Scientific magazine. Series: Processes and devices of food productions. 2014. No. 3. P. 205-216.*
3. *Pastukhov A. S., Danin V. B. Process of convective cooling of bakery products as an object of the research//News of St. Petersburg State University of low-temperature and food technologies. 2008. No. 2. P. 17-18.*
4. *Balyubash V.A., Aleshichev S.E., Dobryakov V.A. Improvement of the control systems of hardware and technological complexes of the food industry//SRI ITMO Scientific magazine. Series: Processes and devices for food production. 2012. No. 1.*
5. *Pastukhov A. S., Danin V. B. General information about cooling of bread //News of St. Petersburg State University of low-temperature and food technologies. 2007. No. 1. P. 37-41.*
6. *Danin V. B., Pastukhov A. S. Mechanism of natural drying of bakery products. Fight against loss of mass of a product//SRI ITMO Scientific magazine. Series: Processes and devices of food production. 2009. No. 1. P. 1-8.*
7. *Danin V. B., Pastukhov A. S. Analytical expression of the heat conductivity coefficient in the course of cooling of bakery products//Bulletin of the International academy of cold. 2011. No. 2. P. 50-55.*
8. *Pastukhov A. S., Danin V. B. Development of the system of stabilization of parameters of the cooling process of bakery products in an automated control system for technological process of baking production. Parametrical scheme of the object of management//SRI ITMO Scientific magazine. Series: Processes and devices of food production. 2013. No. 2. P. 22.*
9. *Pastukhov A., Danin V. Model development for fresh baked bread natural and forced cooling//6th Baltic Conference on Food Science and Technology: Innovations for Food Science and Production, FOODBALT-2011. Conference Proceeding. 2011. P. 209-214.*
10. *Danin V. B., Pastukhov A. S. Receipt of bakery products on a cooling site. Optimization on the basis of the model of the mass service system //Bulletin of the International academy of cold. 2014. No. 3. P. 61-63.*
11. *Pastukhov A. Automatic control and maintaining of cooling process of bakery products//Agronomy Research. 2015, Vol. 4, No. 13. River 1031-1039.*
12. *Danin V. B., Pastukhov A. S. Development of the calculation system of the parameters of the process of cooling of bakery products on the basis of mathematical modeling//SRI ITMO Scientific magazine. Series: Processes and devices of food productions. 2012. No. 1. P. 22.*