

Учреждение образования
«Могилевский государственный университет продовольствия»

УДК 621.365:641.5.35; 641.521:641.542.6

**КИРИК
АЛЕСЯ ВАСИЛЬевна**

**ТЕПЛОВАЯ ОБРАБОТКА ПОДОВЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ
ИЗДЕЛИЙ В ДВИЖУЩЕЙСЯ ПАРОВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ
В АППАРАТАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.18.12 – процессы и аппараты
пищевых производств

Могилев, 2013

Работа выполнена в учреждении образования «Могилевский государственный университет продовольствия»

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Иванов Александр Васильевич
Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия», профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Груданов Владимир Яковлевич
Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», заведующий кафедрой «Технологий и технического обеспечения процессов переработки»;
кандидат технических наук, доцент
Киркор Максим Александрович
Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия», заведующий кафедрой прикладной механики.

Оппонирующая организация – Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию».

Защита состоится «23» мая 2013 г. в 15⁰⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.17.01 в учреждении образования «Могилевский государственный университет продовольствия» по адресу: 212027, Республика Беларусь, г. Могилев, проспект Шмидта, 3, ауд. 206; e-mail: mti@mogilev.by; телефон ученого секретаря (222) 47 49 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Могилевский государственный университет продовольствия».

Автореферат разослан «22» апреля 2013 г.

Ученый секретарь Совета по защите диссертаций, к.т.н., доцент



О.В. Мащикова

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на потребительском рынке хлебобулочных изделий наблюдается тенденция падения спроса на сорта хлеба массового производства, прежде всего формового. В связи с этим предприятия-производители хлебобулочных изделий вынуждены искать пути сохранения объемов производства. Делается это за счет расширения ассортимента выпускаемой продукции, в первую очередь мелкоштучных изделий, выпускаемых в сравнительно небольших количествах. Если продолжать эксплуатировать уже имеющиеся на предприятиях тоннельные и тупиковые печи большой производительности, загруженные частично, то, учитывая их энергоемкость и инертность, выпекать на таких печах широкий ассортимент и получать ощутимый экономический эффект практически невозможно. Причем ситуация будет ухудшаться за счет постоянного роста цен на энергоносители. Таким образом, предприятия-производители первоочередное внимание вынуждены уделять техническому переоснащению производств, внедрению энергосберегающего оборудования.

Оптимальный путь решения проблемы – применение для выпечки широкого ассортимента хлебобулочных изделий тепловых аппаратов периодического действия с вынужденным движением теплоносителя: экономичных, мобильных, малогабаритных. Мобильность и гибкость небольших хлебопекарных и кондитерских производств, оснащенных современным технологическим оборудованием, позволяют оперативно изменять вырабатываемый ассортимент продукции, ориентируясь на вкусы потребителей, что и предопределяет их эффективную работу и позволяет занимать свою нишу на рынке. Однако такое оборудование в стране не производилось, поэтому разработка его являлась актуальной задачей.

Проектирование тепловых аппаратов для выпечки начинается с обоснования продолжительности выпечки. Предлагаемые на данный момент подходы к аналитическому определению продолжительности выпечки нуждаются в развитии и совершенствовании, так как от этого параметра зависят и качество получаемой продукции и энергетические затраты на процесс. Кроме того, для наиболее распространенных хлебобулочных изделий практически отсутствуют сведения, отражающие научно обоснованные параметры их тепловой обработки в аппаратах периодического действия с вынужденным движением теплоносителя.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами. Теоретические и экспериментальные исследования по теме диссертационной

работы осуществлялись на кафедре машин и аппаратов пищевых производств учреждения образования «Могилевский государственный университет продовольствия» в рамках: ГЗ НИР № 08–01, № гос. регистрации 20080865 «Разработать технико-технологические параметры модельного ряда высокоэффективного теплового аппарата для объектов школьного питания на основе оптимизации процессов обработки пищевых продуктов в паровоздушной среде», включенная в ГКПНИ «Продовольственная безопасность»; ГБ НИР № 26–07, № гос. регистрации 2006955 «Научное и техническое обеспечение процессов переработки сельскохозяйственного сырья в машинах и аппаратах пищевой промышленности»; ХД 2008-01 «Совместная разработка пароконвекционного аппарата для объектов общественного питания», ХД 2011–14 «Разработка технологии производства кулинарной продукции в пароконвекционном аппарате АПК–0,85» (заказчик – РУП «Гомельский завод торгового машиностроения»), ХД 2012–04 «Совместная разработка пароконвектомата инжекторного типа АПК–1,36» (заказчик – ОАО «Техноприбор» г. Могилев).

Цель и задачи исследования. Целью представленной работы являлось определение продолжительности процесса выпечки подовых хлебобулочных изделий в движущейся паровоздушной среде, создание импортозамещающей продукции – универсального теплового аппарата периодического действия с вынужденным движением теплоносителя и разработка технологических режимов выпечки подовых изделий из пшеничной муки в аппаратах предложенной конструкции.

Для реализации цели были поставлены следующие задачи:

- провести анализ процесса выпечки и аппаратов для его реализации;
- создать экспериментальную установку для исследования теплообмена в условиях принудительной циркуляции греющей паровоздушной среды, теплопроводности в теле выпекаемой тестовой заготовки, технологических режимов выпечки и энергоёмкости процесса;
- установить зависимость поправочного коэффициента от относительной влажности воздуха, учитывающую ее влияние на коэффициент конвективной теплоотдачи от сухого воздуха;
- исследовать процесс нестационарной теплопроводности в теле выпекаемой тестовой заготовки и получить аналитическую зависимость для определения продолжительности ее нагрева;
- установить оптимальные режимы выпечки подовых тестовых заготовок из пшеничной муки и определить энергоёмкость процесса в исследуемой конструкции аппарата;
- разработать методику расчета продолжительности выпечки изделий из пшеничного теста в аппаратах с вынужденным движением теплоносителя с

регулируемой относительной влажностью, а также их основных технических характеристик;

– разработать и внедрить в производство тепловой аппарат периодического действия с вынужденным движением теплоносителя.

Положения, выносимые на защиту:

– результаты экспериментальных исследований влияния относительной влажности паровоздушной среды на коэффициент ее конвективной теплоотдачи при атмосферном давлении в условиях принудительной циркуляции греющей паровоздушной среды в технологическом диапазоне температур;

– аналитическое описание процесса выпечки подовых хлебобулочных изделий из пшеничного теста в форме полушара;

– оптимальные параметры тепловой обработки подовых хлебобулочных изделий из пшеничной муки в движущейся паровоздушной среде;

– методика определения продолжительности процесса выпечки и определения основных технических характеристик тепловых аппаратов периодического действия с вынужденным движением теплоносителя;

– результаты внедрения в производство теплового аппарата периодического действия с вынужденным движением теплоносителя.

Практическая значимость. Разработана конструкция теплового аппарата с вынужденным движением греющей среды. Новизна технического решения подтверждена полученным патентом Республики Беларусь на полезную модель № 6333.

Результаты работы использованы при разработке и серийном производстве пароконвекционного аппарата АПК–0,85 на РУП «Гомельский завод торгового машиностроения» и разработке аппарата АПК–1,36 на ОАО «Техноприбор» г. Могилев.

Разработаны и внедрены в производство рецептуры и технологические карты по производству кулинарной продукции и мучных изделий с применением пароконвекционной обработки.

Научная работа по теме «Разработка и исследования пароконвекционного аппарата для объектов общественного питания» на Могилевском областном конкурсе на лучшую научную разработку студентов и аспирантов вузов для внедрения в производство и социальную сферу в 2010 г. удостоена Диплома лауреата.

В конкурсе «Лучший научно-технический проект и лучшая научно-техническая разработка года» в рамках Петербургской технической ярмарки 2012 г. разработка «Пароконвекционный аппарат АПК–0,85» награждена дипломом II-й степени и Серебряной медалью в номинации «Эффективность освоения инноваций в промышленном процессе. Модернизация производства».

Личный вклад соискателя. Диссертация является самостоятельной законченной научной работой, обобщающей результаты теоретических и экспериментальных исследований, в реализации которых автор принял непосредственное участие. Вклад соавторов в совместно опубликованных работах заключается в руководстве при проведении исследований, в планировании и обсуждении результатов.

Аггрегация результатов диссертации. Основные результаты проведенных исследований были доложены и обсуждены на Международных научно-технических конференциях: «Техника и технология пищевых производств» (Могилев, 2009, 2010, 2011, 2012 г.г.); «Инновационные технологии в пищевой промышленности» (Минск, 2009 г.); «Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка» (Донецк, 2009 г.); «Наукові здобутки молоді вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті» (Киев, 2010, 2011, 2012 г.г.); «Науково-технічна творчість студентів з процесів і обладнання харчових виробництв» (Донецк, 2010 г.); «Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции» (Минск, 2011 г.); а также включены в каталог научных разработок Могилевского государственного университета продовольствия в 2009 и 2012 г.г.

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано всего 30 печатных работ, в том числе в рецензируемых научных журналах и сборниках научных трудов* – 6 (2,34 авторских листа), статей и тезисов докладов – 23 и 1 патент Республики Беларусь на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает перечень условных обозначений, введение, общую характеристику работы, пять глав, заключение, библиографический список и приложения. Общий объем диссертации составляет 211 страниц машинописного текста, содержит 14 таблиц на 7 листах, 32 рисунка на 18 листах, 7 приложений на 100 листах, 135 источников на 12 листах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность темы диссертационной работы и практическая значимость выполненных исследований.

В первой главе систематизированы литературные данные о современном состоянии теории, техники и технологии процесса выпечки. Рассмотрены конструкции однокамерных тепловых аппаратов периодического действия с режимом движения теплоносителя – вынужденная конвекция (ротационные печи и конвекционные аппараты), реализующих процесс выпечки. Установлено, что данный вид оборудования в Республике Беларусь не производился, но активно импортировался из-за рубежа. Кроме того, для

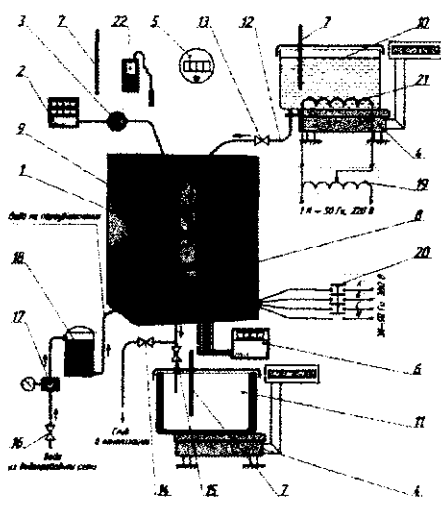
наиболее распространенных видов хлебобулочных изделий практически отсутствуют сведения, отражающие научно обоснованные параметры их выпечки в аппаратах подобной конструкции.

На основании проведенного анализа обоснован выбор объекта исследования, сформулированы цели и задачи диссертационной работы и определены методы их решения, обоснована необходимость разработки отечественного теплового аппарата периодического действия с вынужденным движением греющей среды.

Во второй главе представлены результаты исследования влияния относительной влажности паровоздушной смеси на коэффициент ее конвективной теплоотдачи. Коэффициент теплоотдачи оказывает влияние на прогрев выпекаемой тестовой заготовки и, как следствие, на продолжительность процесса выпечки.

Для реализации поставленной цели экспериментально определяли значение коэффициента конвективной теплоотдачи при различных значениях относительной влажности теплоносителя. Затем расчетным путем получали значение коэффициента теплоотдачи от сухого воздуха. Далее для получения функциональной зависимости эти значения сравнивались.

Для исследования влияния относительной влажности паровоздушной среды на коэффициент конвективной теплоотдачи при атмосферном давлении в условиях принудительной циркуляции греющей паровоздушной среды была разработана экспериментальная установка (рисунок 1).



1 – тепловой аппарат; 2 – измеритель температуры и влажности; 3 – измеритель-преобразователь температуры и влажности; 4 – весы электронные; 5 – счетчик-секундомер; 6 – измеритель температуры; 7 – термометр ртутный; 8 – преобразователь термоэлектрический (T_0 – температура воды на входе в теплообменник, T_1 – температура воды на выходе из теплообменника, $T_2...T_5$ – температура стенки теплообменника, T_6 – температура теплоносителя в рабочей камере; 9 – теплообменник трубчатый; 10 – бак расходный для воды; 11 – бак приемный теплоизолированный для воды; 12 – шланг термостойкий; 13, 14, 15, 16 – кран пробковый; 17 – клапан редукционный с манометром; 18 – колонка ионообменная; 19 – автотрансформатор; 20 – пускатель магнитный; 21 – ТЭН; 22 – термоанемометр

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Исследование теплоотдачи в условиях нагревания проводилось при обогреве опытной трубы (трубчатого теплообменника) паровоздушной смесью. Обработка экспериментальных данных проводилась по следующей методике.

Средний коэффициент теплоотдачи от теплообменной среды к поверхности трубки теплообменника α (Вт/(м²·°C)) определяется по формуле

$$\alpha = \frac{q}{t_w - t_c}, \quad (1)$$

где q – плотность теплового потока от греющей среды к стенкам теплообменника, Вт/м²; t_w , t_c – соответственно средняя температура греющей среды и теплопередающей стенки теплообменника, °C.

Здесь плотность теплового потока q (Вт/м²) от паровоздушной среды к теплоприемнику

$$q = \frac{Q}{F}, \quad (2)$$

где Q – мощность теплового потока, Вт; F – площадь поверхности теплообмена, м².

Мощность теплового потока Q (Вт) находится по формуле:

$$Q = c_w G_w (t_w' - t_c), \quad (3)$$

где c_w – средняя удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·°C).

Массовый расход воды G_w (кг/с) через теплообменник за время проведения эксперимента определяется как

$$G_w = \frac{M_w - M_n}{\tau}, \quad (4)$$

где M_w , M_n – соответственно масса приемного бака до и после проведения эксперимента, кг; τ – продолжительность эксперимента, с.

Процесс теплообмена между стенкой теплообменника и греющей средой является результатом совместного действия процессов конвективного теплообмена и излучения. При этом коэффициент теплоотдачи конвекцией α_k определяется по формуле:

$$\alpha_k = \alpha - \alpha_l, \quad (5)$$

где α_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м²·°C); α_l – коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием, Вт/(м²·°C).

Коэффициент теплоотдачи излучением α_l определяется по формуле:

$$\alpha_l = \frac{\varepsilon \cdot C_0}{t_w - t_c} \left[\left(\frac{T_w}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 \right] \quad (6)$$

где C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела; ε – степень черноты; $T_{ж}$ – абсолютная температура теплоносителя, К; T_c – абсолютная средняя температура стенки теплообменника, К.

По формуле (5) определялся конвективный коэффициент теплоотдачи, полученный на основе проведенных экспериментальных исследований (α_k^*).

Для получения расчетного коэффициента конвективной теплоотдачи от сухого воздуха (α_r^*) при продольном и поперечном обтекании круглой трубки применялась теория подобия. Система определяемых чисел подобия включает в себя искомую величину – коэффициент конвективной теплоотдачи, который содержится в числе Нуссельта:

$$Nu = \frac{\alpha_k \cdot l}{\lambda}, \quad (7)$$

где α_k – коэффициент теплоотдачи; λ – коэффициент теплопроводности теплоносителя, Вт/(м·°С); l – характерный размер, м.

Кроме того, искомая функциональная связь представляется в виде $Nu = f(Re, Pr)$. Значение числа Прандтля (Pr), являющегося теплофизической характеристикой теплоносителя, принималось из справочной литературы. Число Рейнольдса (Re) определялось для продольных и для поперечных участков теплообменной трубки следующим образом

$$Re = \frac{\omega_{cp} \cdot l}{\nu}, \quad \text{и} \quad Re = \frac{\omega_{cp} \cdot d}{\nu} \quad (8)$$

где l – длина продольного участка теплообменной трубки, м; d – диаметр теплообменной трубки, м; ω_{cp} – средняя скорость движения теплоносителя, м/с; ν – коэффициент кинематической вязкости теплоносителя, м²/с.

Процесс теплоотдачи при омывании теплоносителем одиночной круглой трубки описывается уравнениями (9 – 12) (индекс «ж» означает, что физические свойства выбираются по температуре жидкости; индексы «d» и «l» означают, что характерный размер – диаметр или длина трубки соответственно).

При $5 < Re_{жd} < 10^3$ значение числа Нуссельта при поперечном обтекании трубки определяется по формуле:

$$Nu_{жd} = 0.5 Re_{жd}^{0.5} Pr_{ж}^{0.38}, \quad (9)$$

При $10^3 < Re_{жd} < 2 \cdot 10^5$ число Нуссельта определяется как:

$$Nu_{жd} = 0.25 Re_{жd}^{0.6} Pr_{ж}^{0.38}. \quad (10)$$

При $Re_{жl} < 10^5$ число Нуссельта при продольном обтекании трубки определяется по формуле:

$$Nu_{w,l} = 0,66 Re_{w,l}^{0,5} Pr_{w,l}^{0,33}. \quad (11)$$

При $Re_{w,l} > 10^5$ число Нуссельта определяется по формуле:

$$Nu_{w,l} = 0,037 Re_{w,l}^{0,5} Pr_{w,l}^{0,43}. \quad (12)$$

Значение коэффициента конвективной теплоотдачи от сухого воздуха при поперечном обтекании теплообменной трубки определяется как:

$$\alpha_x^d = \frac{Nu_{w,l} \cdot \lambda}{d}, \quad (13)$$

где λ – коэффициент теплопроводности теплоносителя при расчетной температуре $t_{w,l}$, Вт/(м·°С).

Значение коэффициента конвективной теплоотдачи от сухого воздуха при продольном обтекании теплообменной трубки определяется как:

$$\alpha_x^l = \frac{Nu_{w,l} \cdot \lambda}{l} \quad (14)$$

Среднее расчетное значение расчетного коэффициента конвективной теплоотдачи от теплоносителя (сухого воздуха)

$$\alpha_x^p = x \cdot \alpha_x^d + y \cdot \alpha_x^l, \quad (15)$$

где x – доля продольных участков теплообменной трубки от общей ее длины; y – доля поперечных участков теплообменной трубки от общей ее длины.

Среднеквадратичная погрешность определения значения коэффициента теплоотдачи равна 6 %, что соответствует данным, приводимым в литературе по конвективному теплообмену.

Полученное расчетным путем значение коэффициента конвективной теплоотдачи от сухого воздуха α_x^p сравнивалось со значением α_x^e , полученным экспериментальным путем, и находилось значение поправочного коэффициента ε_v по формуле

$$\varepsilon_v = \frac{\alpha_x^e}{\alpha_x^p}. \quad (16)$$

Графическая зависимость поправочного коэффициента ε_v , учитывающего влияние относительной влажности воздуха φ (%) на коэффициент конвективной теплоотдачи от сухого воздуха представлена на рисунке 2.

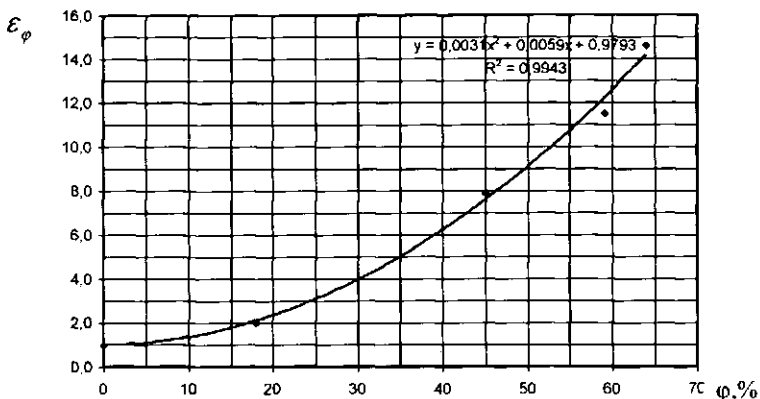


Рисунок 2 – Зависимость значения поправочного коэффициента от относительной влажности воздуха

Для наглядности и простоты инженерных расчетов функциональную зависимость $\varepsilon_\varphi = f(\varphi)$, представленную на рисунке 2, определяли в степенном виде. В итоге получена аппроксимирующая зависимость между поправочным коэффициентом ε_φ и относительной влажностью воздуха φ (%):

$$\varepsilon_\varphi = 0,019 \cdot \varphi^{1,584} \quad (17)$$

Достоверность полученного уравнения (17) оценивалась по критерию Фишера $K_{\phi\varphi}$, для которого $K_{\phi\varphi} = 0,39$ ($K_{\phi m} = 8,7$).

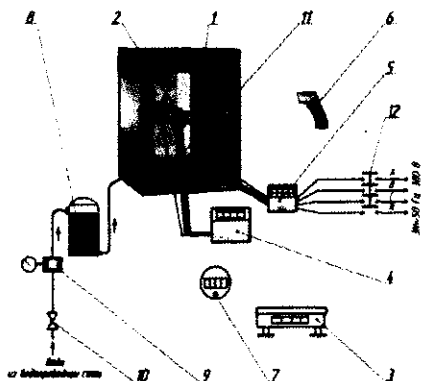
Таким образом, полученные результаты с достаточной для инженерных расчетов точностью отражают влияние относительной влажности воздуха на коэффициент его конвективной теплоотдачи. Полученный поправочный коэффициент будет использоваться при определении продолжительности первого периода выпечки, а также может применяться для инженерных расчетов при проектировании утилизационных теплообменников.

В третьей главе представлены результаты исследования процесса теплопроводности в теле выпекаемой тестовой заготовки. Для этого определялись значения температур в различных точках выпекаемой тестовой заготовки. По результатам экспериментальных данных получена зависимость безразмерной температуры от числа Фурье во втором периоде выпечки, позволяющая определять продолжительность второго периода выпечки.

Для исследования температурных полей в выпекаемой тестовой заготовке, а также определения энергоемкости процесса выпечки подовых хлебобулочных изделий в движущейся паровоздушной среде в аппаратах периодического действия была создана экспериментальная установка,

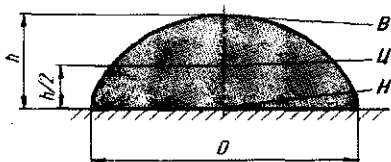
представленная на рисунке 3.

Измерение температур в теле выпекаемой тестовой заготовки осуществлялось с помощью термоэлектрических преобразователей ТХА, схема расположения спаев которых представлена на рисунке 4.



1 - тепловой аппарат; 2 - выпекаемая тестовая заготовка; 3 - электронные весы; 4 - измеритель температуры; 5 - счетчик электрической энергии трехфазный; 6 - пирометр; 7 - счетчик-секундомер электронный; 8 - колонка ионообменная; 9 - клапан редукционный; 10 - кран пробковый; 11 - преобразователь термоэлектрический; 12 - пускатель магнитный

Рисунок 3 – Схема экспериментальной установки



В - точка измерения температуры в подкорковом слое; Ц - точка измерения температуры в центре заготовки; Н - точка измерения температуры в нижней корке

Рисунок 4 – Схема расположения спаев термопар в различных слоях выпекаемой тестовой заготовки

Выпечка изделий из теста представляет собой нестационарный тепловой процесс, включающий теплопроводность, вызывающий перенос влаги с изменением ее агрегатного состояния, различные физические, биохимические, микробиологические, коллоидные и другие процессы. Как установлено А.С. Гинзбургом и А.А. Михелевым, базовым процессом здесь является нестационарная теплопроводность в теле тестовой заготовки, поскольку изменение температурного поля вызывает или изменяет все остальные процессы

В теории нестационарной теплопроводности изменение температуры во времени в каждой точке тела при его нагревании и охлаждении определяется бесконечным рядом:

$$\Theta = \sum_{n=1}^{\infty} D_n \cdot e^{-\mu_n^2 \cdot Fo} \quad (18)$$

где Θ – относительная избыточная температура тела (далее для краткости Θ называется просто безразмерной температурой); D_n – некоторая функция, зависящая от граничных условий, координат, формы тела и т.п.; μ_n – корни характеристического уравнения, получаемого при решении задачи; Fo – число Фурье, определяемое как:

$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{l^2} \quad (19)$$

где a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; τ – время, с; l – характерный геометрический размер тела, м.

Безразмерная температура определяется по формуле:

$$\Theta = \frac{t_{cp} - t}{t_{cp} - t_0} \quad (20)$$

где t_{cp} – температура среды, $^{\circ}\text{C}$; t – текущее значение температуры в точке II , $^{\circ}\text{C}$; t_0 – начальная температура в точке II , $^{\circ}\text{C}$.

Вычисленная среднеквадратичная погрешность определения значения безразмерной температуры равна 11,6 %.

Для тел правильной формы с одномерным полем температур (бесконечная плоская пластина, бесконечный цилиндр, шар) величины D_n и μ_n для центра тела и для его поверхности табулированы и приводятся в справочной литературе.

Как видно из выражений (18, 19) температурное поле в теле зависит от его геометрической формы, начального теплового состояния и условий теплообмена тела с окружающей средой. Известно, что со временем с ростом числа Фурье ряд (18) быстро сходится. Все члены ряда, начиная со второго, становятся малыми по сравнению с первыми, и распределение температуры во времени для всех точек тела может быть выражено первым слагаемым ряда:

$$\Theta = D_1 \cdot e^{-\mu_1^2 \cdot Fo} \quad (21)$$

Такую тепловую особенность процесса называют регулярным режимом. Изменение температуры при этом во всех точках тела имеет аналогичный характер и не зависит от начального теплового состояния тела. Для бесконечного цилиндра и шара такой режим наступает при $Fo \geq 0,25$ (при определяющем размере, равном радиусу цилиндра или шара, т.е. при $l=r$, где r – радиус, м). Аппроксимация экспериментальных измерений уравнением (21) открывает большие возможности для обобщения опытных данных,

прогнозирования изменения температуры во времени в процессе выпечки тестовых заготовок. получения расчетных уравнений. Коэффициенты D_1 и μ_1 получаются в этом случае эмпирически.

Для температурного поля внутри тестовой заготовки в качестве температуры среды (или предельной температуры) принята температура $t_{ср} = 100$ °С – температура насыщения водяного пара (температура кипения) при атмосферном давлении.

Результаты серии экспериментов по изучению процесса нестационарной теплопроводности в теле выпекаемой тестовой заготовки представлены на рисунке 5. Число Фурье при этом вычислялось при определяющем размере, равном половине начальной высоты тестовой заготовки после расстойки перед помещением в рабочую камеру, т.е. при $l = h/2$. Здесь можно наблюдать хорошее совмещение линий, позволяющее объединять данные для изделий разной массы при получении критериального уравнения.

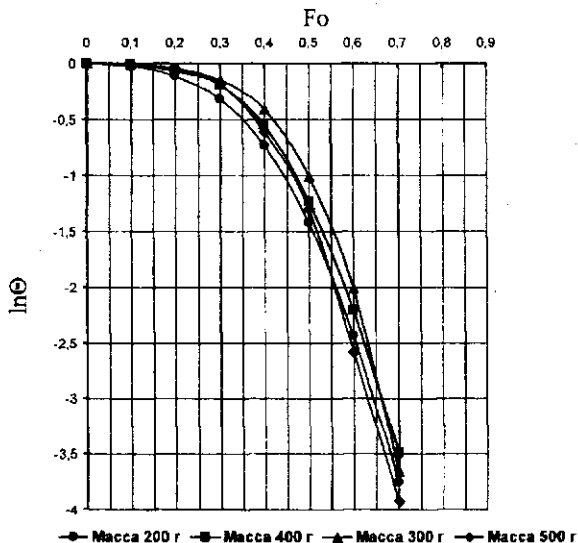


Рисунок 5 – График зависимости безразмерной температуры от числа Фурье в полулогарифмических координатах для выпекаемых тестовых заготовок разной массы

Аппроксимируя данные, представленные на рисунке 5, получаем уравнение, описывающее процесс прогрева изделия на его второй стадии:

$$\Theta = 18,3 \cdot e^{-8,98F_0} \quad (22)$$

Данное уравнение получено для изделий из сдобного теста массой 200 г – 500 г с соотношением диаметра к начальной высоте $D/h \approx 5:1$ и справедливо при $Fo \geq 0,35$.

Достоверность полученного уравнения (22) безразмерной температуры от числа Фурье реальной зависимости определена по критерию Фишера, для которого $K_{\phi} = 1,2$ ($K_{\phi m} = 10$).

Это уравнение (22) рекомендуется для инженерных расчетов при определении температуры в центре изделий по истечении определенного времени или при определении необходимого времени до достижения заданной температуры в центре выпекаемой тестовой заготовки во втором периоде выпечки. Уравнение описывает изменение температуры в центре заготовок конкретной формы (шаровой сегмент) с геометрическим параметром $D/h \approx 5:1$.

В четвертой главе представлены результаты технологических исследований процесса выпечки тестовых заготовок из пшеничного теста и пшеничного сдобного теста в тепловом аппарате с режимом движения теплоносителя – вынужденная конвекция, а также была проведена оптимизация процесса выпечки.

При проведении экспериментальных исследований изучалось влияние режимов выпечки тестовых заготовок, отличающихся между собой по массе и рецептуре, на качество готовых изделий, а также энергоемкость процесса.

Булочные изделия, выпеченные в лабораторных условиях, анализировали через 8 часов после выпечки по следующим показателям: запах, вкус, цвет мякиша, состояние поверхности корки, структурно-механические свойства мякиша, структура пористости. Эти результаты были рассмотрены при определении балльной оценки качества, которая комплексно отражает (в баллах) наиболее важные показатели качества готовых изделий, определяемые органолептическими и объективными методами анализа, и учитывает весомость (значимость) каждого показателя. Оценку каждого показателя проводили по пятибалльной шкале. Качество готовых изделий оценивали как сумму баллов всех оцениваемых показателей с учетом коэффициентов весомости каждого показателя.

Анализ результатов проведенных исследований показал, что целесообразно регулировать параметры теплоносителя в I и II периодах выпечки. Для достижения наилучших показателей качества пшеничных изделий рекомендуются следующие технологические режимы выпечки:

- I период – относительная влажность воздуха 74 %, температура воздуха в пекарной камере 140 °С, продолжительность периода 4...5 минут;
- II период – температура воздуха в пекарной камере 200 °С и без его увлажнения, продолжительность периода зависит от массы и формы выпекаемой тестовой заготовки.

С целью оптимизации режимов и параметров тепловой обработки изделий из пшеничной муки, проверки результатов однофакторных экспериментов был использован метод центрального композиционного планирования. В качестве независимых факторов выбрали температуру выпечки (t , °С) и относительную влажность воздуха в рабочей камере аппарата в процессе выпечки (φ , %). За основной уровень выбраны значения температуры 200 °С, относительной влажности 54,5 %. Интервал варьирования факторов был принят: $t = 180$ °С...220 °С; $\varphi = 45$ %...64 %.

В качестве параметра оптимизации был применен комплексный показатель (K , балл·кг/Дж), позволяющий учитывать затраты энергии на процесс выпечки тестовых заготовок (количественная составляющая) и качество хлеба по балльной оценке (качественная составляющая), который определялся расчетным путем по формуле:

$$K = \frac{B \cdot 10^5}{УЗ}, \quad (23)$$

где B – балльная оценка качества хлеба, балл; $УЗ$ – удельные энергозатраты, Дж/кг.

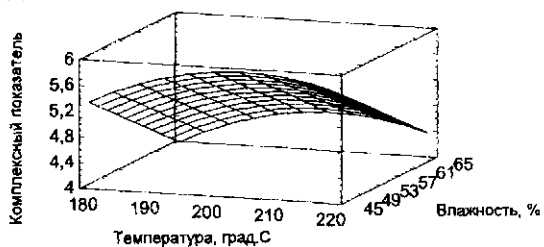


Рисунок 6 – Поверхность отклика

В результате решения задачи оптимизации выпечки были получены значения параметров процесса, при которых достигается минимальная удельная энергоёмкость процесса при максимальных

показателях качества полученных изделий (рисунок 6). По результатам оптимизации получено, что оптимальные значения температуры теплоносителя t лежат в интервале 200 °С...210 °С, а значения его относительной влажности φ – 40 %...45 %. Расчетным путем получены следующие оптимальные значения факторов, при которых комплексный показатель K максимален: $t = 207$ °С, $\varphi = 41$ %.

В пятой главе представлены методика определения продолжительности процесса выпечки подовых хлебобулочных изделий из пшеничного теста в аппаратах периодического действия с вынужденным движением теплоносителя, описание разработанной конструкции пароконвекционного аппарата и результаты его промышленного внедрения.

Для определения продолжительности первого периода выпечки тестовых заготовок τ_1 , при котором на их поверхности образуется корка с температурой

$t_{п}$, решалось уравнение, описывающее зависимость температуры поверхности хлеба, предложенное Л.А. Михелевым [1*], методом простых итераций с помощью среды MATLAB.

$$t(0, \tau) = t_c [1 - e^{aH^2 \tau} \operatorname{erfc}(H\sqrt{a\tau})], \quad (24)$$

где t – температура поверхности хлеба в процессе выпечки, °С; t_c – температура среды пекарной камеры, °С; a – коэффициент температуропроводности, м²/с; τ – время выпечки, с; H – относительный коэффициент теплообмена, м⁻¹

$$H = \frac{\alpha}{\lambda}, \quad (25)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·°С; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С); *erfc* – дополнительная функция ошибок Гаусса.

Для определения численного значения коэффициента теплоотдачи рекомендуется использовать методику, описанную во второй главе.

Температура поверхности $t_{п}$ выпекаемой тестовой заготовки определяется по формуле

$$t_{п} = t + t_{нач}, \quad (26)$$

где $t_{нач}$ – начальная температура тестовой заготовки при посадке в печь, °С.

Для определения продолжительности второго периода выпечки тестовых заготовок τ_2 (с), при котором температура в центре тестовой заготовки достигает величины 96 °С...98 °С, уравнение (22) было преобразовано в следующий вид

$$\tau_2 = - \frac{(\ln \theta - 2,91)(h_n/2)^2}{8,98a}. \quad (27)$$

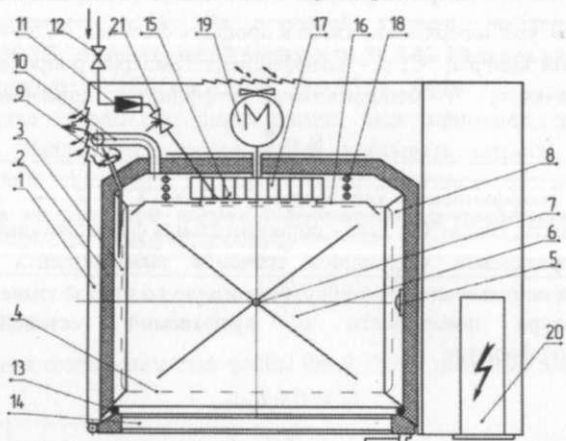
Продолжительность процесса выпечки тестовых заготовок τ (с) определяется сложением полученных в результате расчетов значений τ_1 и τ_2 .

$$\tau = \tau_1 + \tau_2. \quad (28)$$

На рисунке 7 представлена схема разработанного теплового аппарата периодического действия с вынужденным движением паровоздушной среды – пароконвекционного аппарата инжекторного способа пароувлажнения (патент на полезную модель №6333 ВУ А 21В1/00).

На основе представленных в работе расчетных методик для определения продолжительности процесса выпечки, производительности и мощности аппаратов разработан типоразмерный ряд пароконвекционных аппаратов, который имеет вид (количество гастроемкостей G1/1 в рабочей камере) «5; 8; 12; 20», и установлены их технические характеристики.

Разработанная конструкция пароконвекционного аппарата АПК-0,85, представленная на рисунке 8, внедрена в серийное производство на РУП «Гомельский завод торгового машиностроения» в двух конструктивных исполнениях – с механическим (а) и электронным (б) блоком управления (в таблице 1 представлена его техническая характеристика).



1 – корпус аппарата; 2 – тепловая изоляция; 3 – направляющая для гастроемкостей; 4 – место расположения гастроемкости; 5 – лампочка освещения; 6 – днище; 7 – отверстие для удаления конденсата; 8 – направляющая для гастроемкостей; 9 – патрубок с клапаном для ввода свежего воздуха; 10 – патрубок для отвода теплоносителя; 11 – редукционный клапан; 12 – вентиль подачи воды; 13 – уплотнитель дверцы; 14 – дверца; 15 – патрубок подачи воды в турбину; 16 – шторка с направляющими потока теплоносителя; 17 – турбина вентилятора; 18 – ТЭНы; 19 – электродвигатель; 20 – блок управления; 21 – клапан электромагнитный

Рисунок 7 – Принципиально-конструктивная схема пароконвекционного аппарата



Рисунок 8 – Аппарат пароконвекционный АПК-0,85

Таблица 1 – Техническая характеристика аппарата АПК–0,85

Показатели	Ед. изм.	Количество
Объем рабочей камеры	м ³	0,1±0,03
Количество функциональных емкостей GN 1/1	шт	5
Время разогрева рабочей камеры аппарата до 160°С	мин	7
Времени разогрева аппарата до 100°С	мин	3
Максимальная температура рабочего объема	°С	250
Максимальная разность температур рабочего объема	°С	3
Скорость движения теплоносителя в рабочем объеме	м/с	1,8 – 4,1
Максимальная относительная влажность воздуха	%	95
Номинальная мощность	кВт	5,3
Номинальное напряжение	В	220 или 380 (с нулевым проводом)
Частота тока	Гц	50
Габаритные размеры	мм	980×800×750
Масса, не более	кг	50

Опытно-промышленный образец пароконвекционного аппарата АПК–0,85 успешно прошел все производственные и сертификационные испытания (удостоверение о государственной гигиенической регистрации № 08–33–3.70177 от 03.11.2010 г.; сертификат соответствия Госстандарта № 0011711 серия Б, зарегистрированный в реестре № ВУ/112 03.03.002 14842).

На пароконвекционный аппарат разработана конструкторская и техническая документация и получен Акт внедрения результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ (результатов научно-исследовательской работы «Совместная разработка пароконвекционного аппарата для объектов общественного питания» – хозяйственного договора № 2008–01, выполненного УО «МГУП»). Объект внедрения – пароконвекционный аппарат АПК–0,85. Предприятие – РУП «Гомельский завод торгового машиностроения».

Разработаны и внедрены в производство на РУП «Гомельский завод торгового машиностроения» и УО «МГЭПТК» рецептуры и технологические карты по производству кулинарной продукции и мучных изделий с применением пароконвекционной обработки.

Годовой экономический эффект от внедрения и эксплуатации на объекте общественного питания одной единицы оборудования составляет 6 млн. рублей (≈2000 долларов США) в ценах на 01.01.2009 г.

На настоящий момент техническое перевооружение объектов питания при лечебных учреждениях и учреждениях образования является актуальной задачей, так как доля морально и физически изношенного теплового

оборудования на них достигает 70 %...90 %. В связи с этим в 2012 г. совместно с ОАО «Техноприбор» (г. Могилев) разработан средневместительный пароконвекционный аппарат АПК-1,36, рассчитанный на установку 8-и функциональных емкостей. На пароконвекционный аппарат АПК-1,36 разработан полный комплект конструкторской документации, паспорт и руководство по эксплуатации, проект технических условий, программа и методика проведения приемочных испытаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты работы:

1. Разработана экспериментальная установка для исследования тепловых процессов в движущейся паровоздушной среде [1-А, 3-А, 8-А];

2. На созданной установке исследовано влияние относительной влажности воздуха на коэффициент конвективной теплоотдачи в тепловом аппарате с вынужденным движением греющей среды. Установлена зависимость поправочного коэффициента к коэффициенту конвективной теплоотдачи от сухого воздуха от относительной влажности теплоносителя в технологическом диапазоне температур [1-А, 3-А, 8-А, 12-А, 18-А, 20-А, 21-А, 22-А, 24-А, 25-А, 28-А];

3. Исследован процесс теплопроводности в теле выпекаемой тестовой заготовки. Впервые определена зависимость безразмерной температуры выпекаемой тестовой заготовки в форме шарового сегмента с отношением диаметра к начальной высоте изделия (после расстойки) как 5:1 от числа Фурье при регулярном режиме нестационарной теплопроводности, позволяющая определять температуру в центре изделий по истечении определенного времени или при определении необходимого времени до достижения заданной температуры в центре заготовки [2-А, 4-А, 5-А, 6-А, 13-А, 15-А, 16-А, 17-А, 19-А, 23-А, 26-А, 27-А];

4. Впервые установлены оптимальные режимные параметры выпечки подовых хлебобулочных изделий в движущейся паровоздушной среде в аппаратах периодического действия. Определены удельные энергозатраты на процесс выпечки при различных значениях температуры и влажности теплоносителя [9-А, 10-А];

5. Предложена методика определения продолжительности процесса выпечки и определения основных технических характеристик тепловых аппаратов периодического действия с вынужденным движением теплоносителя. Разработана конструкция пароконвекционного аппарата инжекторного типа, позволяющего осуществлять процессы тепловой обработки кулинарной продукции и выпечки тестовых заготовок [7-А, 11-А, 14-А, 29-А, 30-А].

Практическое использование результатов работы.

Результаты диссертационной работы использованы при разработке и серийном производстве пароконвекционного аппарата АПК-0,85 на РУП «Гомельский завод торгового машиностроения» и разработке аппарата АПК-1,36 на ОАО «Техноприбор» г. Могилев.

На основании проведенных исследований разработаны и внедрены в производство на РУП «Гомельский завод торгового машиностроения» и УО «МГЭПТК» рецептуры и технологические карты по производству кулинарной продукции и мучных изделий в пароконвекционном аппарате.

Годовой экономический эффект от внедрения и эксплуатации на объекте общественного питания одной единицы аппарата АПК-0,85 составляет 6 млн. рублей (\approx 2000 долларов США) в ценах на 01.01.2009 г.

Новизна технического решения защищена патентом Республики Беларусь на полезную модель № 6333 [7-А].

Разработана методика расчета продолжительности выпечки изделий из пшеничного теста в аппаратах с вынужденным движением теплоносителя, а также их основных технических характеристик, разработан модульный ряд пароконвекционных аппаратов инжекторного типа.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1* Расчет и проектирование печей хлебопекарного и кондитерского производств / А.А. Михелев [и др.]. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 326 с.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах:

1-А Кирик, И.М. Универсальный тепловой аппарат для объектов общественного питания / И.М. Кирик, Д.А. Смагин, А.В. Кирик // Тем. зб. наук. пр./ Донецкий нац. ун-т экон. і торг. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2008. – Вип. 18: Обладнання та технології харчових виробництв. – С. 194–203.

2-А Иванов, А.В., Анализ результатов экспериментальных исследований процесса гидротермической обработки тестовых заготовок в пароконвекционном аппарате / А.В. Иванов, А.А. Смоляк, А.В. Кирик // Тем. зб. наук. пр./ Донецкий нац. ун-т экон. і торг. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2009. – Вип. 22: Обладнання та технології харчових виробництв. – С.67–72.

3-А Кирик, И.М., Пароконвекционный аппарат для объектов общественного питания / И.М. Кирик И.М., А.А. Смоляк, С.Л. Масанский, А.В. Кирик // Тем. зб. наук. пр./ Донецкий нац. ун-т экон. і торг. – Донецьк:

ДонНУЕТ, 2009. – Вып. 22: Обладнання та технології харчових виробництв. – С.82–90.

4-А Смоляк, А.А., Особенности процессов теплообмена в тестовой заготовке при выпечке в пароконвекционном аппарате/ А.А. Смоляк, А.В. Кирик // Тем. зб. наук. пр./ Донецький нац. ун-т екон. і торг. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2010. – Вып. 25: Обладнання та технології харчових виробництв. – С. 280–289.

5-А Иванов, А.В. Экспериментальное исследование процесса тепловой обработки тестовых заготовок в пароконвекционном аппарате / А.В. Иванов, А.А. Смоляк, А.В. Кирик // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия / Научно методический журнал. – 2010. – №2(9). – С. 79–87.

6-А Кирик, И.М. Экспериментальное исследование процесса тепловой обработки тестовых заготовок в пароконвектомате / И.М. Кирик, А.В. Кирик.- Праці / Таврійський державний агротехнологічний університет.- Вып. 12. Т. 2.– Мелітополь: ТДАТУ, 2012.– С.189–202.

Патенты на изобретения:

7-А Хлебопекарная печь: пат. на полезную мод. 6333 Респ. Беларусь, МПК А 21В1/00 / И.М. Кирик, А.В. Иванов, А.В. Кирик; заявитель Учреждение образования «Могилевский гос. ун-т продовольствия»: – № u20090892; заявл. 29.10.09; опубл. 30.06.10//Афіцыйны бюл./ Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 3. – С. 155–156.

Статьи в журналах, сборниках материалов конференций, тезисы докладов:

8-А Кирик, И.М., Пароконвекционный аппарат для объектов общественного питания / И.М. Кирик И.М., А.А. Смоляк, С.Л. Масанский, А.В. Кирик // Инновационные технологии в пищевой промышленности: материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 8–9 октября 2009/ РУП «НПЦ НАН Беларуси по продовольствию»; редкол: [и др.]. – Минск, 2009. – С. 394–401.

9-А Кирик, И.М. Первый белорусский пароконвекционный аппарат АПК-0,85 / И.М. Кирик, Д.А. Смагин, А.В. Кирик, В.М. Сувалов.– Минск: ГЕРМЕС. –2010. – № 11.- С. 65–67.

10-А Кирик, И.М. Аппетитный блеск и уменьшение потерь / И.М. Кирик, А.В. Кирик, В.М. Сувалов// ГЕРМЕС. – 2011. – № 3.– С. 64–65.

11-А Кирик, И.М. Первый белорусский пароконвекционный аппарат для объектов общественного питания /И.М. Кирик , В.А. Сизенов, А.В. Кирик// Техника и технология пищевых производств: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 21–22 мая 2009 г.: в 2 ч. / Могил. гос. ун-т продовольствия; редкол.: А.В. Акулич [и др.]. – Могилев, 2009. – Ч.2 – С.91.

12-А Кирик, И.М. Результаты экспериментальных исследований процесса теплоотдачи в пароконвекционном аппарате / И.М. Кирик, А.А. Смоляк, А.В. Кирик, А.А. Маренич // Техника и технология пищевых производств: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 21-22 мая 2009 г.: в 2 ч. / Могил. гос. ун-т продовольствия; редкол.: А.В. Акулич [и др.]. – Могилев, 2009. – Ч.2 – С.95.

13-А Иванов, А.В. Результаты экспериментальных исследований процессов выпечки тестовых заготовок в пароконвекционном аппарате/ А.В. Иванов, Е.А. Назаренко, А.В. Кирик // Техника и технология пищевых производств: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 21-22 мая 2009 г.: в 2 ч. / Могил. гос. ун-т продовольствия; редкол.: А.В. Акулич [и др.]. – Могилев, 2009. – Ч.2 – С. 102–103.

14-А Кирик, И.М. Разработка схемы пароконвекционного аппарата для объектов общественного питания / И.М. Кирик, Д.А. Смагин, А.В. Кирик // Техника и технология пищевых производств: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 21–22 мая 2009 г.: в 2 ч. / Могил. гос. ун-т продовольствия; редкол.: А.В. Акулич [и др.]. – Могилев, 2009. – Ч.2 – С. 105.

15-А Смоляк, А.А. Результаты экспериментальных исследований процесса гидротермической обработки заготовок из пшеничного теста / А.А. Смоляк А.А., А.В. Кирик // Техника и технология пищевых производств: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 21–22 мая 2009 г.: в 2 ч. / Могил. гос. ун-т продовольствия; редкол.: А.В. Акулич [и др.]. – Могилев, 2009. – Ч.2 – С. 119–120.

16-А Иванов, А.В. Анализ результатов экспериментальных исследований процесса гидротермической обработки заготовок из пшеничного теста / А.В. Иванов, А.А. Смоляк, А.В. Кирик // Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка: Тези доп. Міжнар.наук.-техн. конф. –Донецьк: ДонНУЕТ, 2009. – С. 25–28.

17-А Кирик, А.В. Особенности процессов теплообмена в тестовой заготовке при выпечке в пароконвектомате/ А.В. Кирик., Е.Н. Боричевская// Техника и технология пищевых производств: тез. докл. VII Междунар. науч. конф. студентов и аспирантов, Могилев, 22 – 23 апреля 2010г.: в 2 ч./ Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»; редкол: А.В. Акулич [и др.] – Могилев, 2010. – Ч.2. – С. 50.

18-А Кирик, А.В. Результаты экспериментальных исследований процесса теплообмена в пароконвектомате/ А.В. Кирик., Д.И. Гулевич// Техника и технология пищевых производств: тез. докл. VII Междунар. науч. конф. студентов и аспирантов, Могилев, 22 – 23 апреля 2010г.: в 2 ч./ Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»; редкол: А.В. Акулич [и др.] – Могилев, 2010. – Ч.2. – С. 82.

19-А Кирик, А.В. Особенности процессов теплообмена в тестовой заготовке при выпечке в пароконвектомате / А.В. Кирик// Наукові здобутки молоді вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: тез. доп. 76-ї наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів., Київ, 12 -13 квітня 2010 р.: в 4 ч./ Національний університет харчових технологій; редкол.: А.І. Українець [и др.] – Київ, 2010. – Ч.2. – С. 120.

20-А Кирик, А.В. Результаты экспериментальных исследований процесса теплообмена в пароконвектомате / А.В. Кирик, Д.И. Гулевич, И.М. Кирик // Наукові здобутки молоді вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: тез. доп. 76-ї наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів., Київ, 12 -13 квітня 2010 р.: в 4 ч./ Національний університет харчових технологій; редкол.: А.І. Українець [и др.] – Київ, 2010. – Ч.2. – С. 120

21-А Кирик, А.В. Исследование теплообменных процессов в пароконвекционном аппарате/ А.В. Кирик., А.В. Иванов// Техника и технология пищевых производств: тез. докл. VII Междунар. науч. конф. студентов и аспирантов, Могилев, 22 – 23 апреля 2010г.: в 2 ч./ Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»; редкол.: А.В. Акулич [и др.] – Могилев, 2010. – Ч.1. – С. 8.

22-А Гулевич, Д.И., Результаты экспериментальных исследований процесса теплообмена в пароконвекционном аппарате/ Д.И. Гулевич, А.В. Кирик // 36.тез міжнар. студ. наук. практ. конф./ Донецький нац. ун-т екон. і торг. – Донецьк, 2010. – Вип. 2: Науково-технічна творчість студентів з процесів і обладнання харчових виробництв. – С.63–65.

23-А Боричевская, Е.Н., Результаты экспериментальных исследований процесса выпечки тестовых заготовок в пароконвектомате /Е.Н. Боричевская, А.В. Кирик // 36.тез міжнар. студ. наук. практ. конф./ Донецький нац. ун-т екон. і торг. – Донецьк, 2010. – Вип. 2: Науково-технічна творчість студентів з процесів і обладнання харчових виробництв. – С.59–60.

24-А Иванов, А.В., Результаты экспериментальных исследований процесса теплообмена в пароконвекционном аппарате/ А.В. Иванов, И.М. Кирик, А.В. Кирик // Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: доклады Междунар. науч.-практич. конф., Минск, 14–15 апреля 2011 г.: в 2 ч./ Белорус. гос. аграрный технич. ун-т; редкол.: В.Б. Ловкис [и др.] Минск, 2011. – Ч. 2 – С. 47–49.

25-А Иванов, А.В., Результаты экспериментальных исследований процесса теплообмена в пароконвектомате/ А.В. Иванов, А.В. Кирик // Техника и технология пищевых производств: тез. докл. VIII Междунар. науч.-технич. конф., Могилев, 27–28 апреля 2011 г.: в 2 ч./ Учреж. обр. «Могилевский гос. ун-т продовольствия»; редкол.: А.В. Акулич (отв. ред.) [и др.] – Могилев, 2011. – Ч. 2, – С. 49.

26-А Смоляк, А.А., Результаты экспериментальных исследований процесса выпечки тестовых заготовок в пароконвектомате/ А.А. Смоляк, А.В. Кирик // Техника и технология пищевых производств: тез. докл. VIII Междунар. науч.-технич. конф., Могилев, 27–28 апреля 2011 г.: в 2 ч./ Учреж. обр. «Могилевский гос. ун-т продовольствия»; редкол.: А.В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев, 2011. – Ч. 2, – С. 48.

27-А Кирик, А.В., Особенности процессов теплообмена в тестовой заготовке при выпечке в пароконвектомате/ А.В. Кирик, А.А. Смоляк// Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: програма і матеріали 77-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, Київ, 11–12 квіт. 2011 р.: в 2 ч./ НУХТ, Київ, 2011. – Ч. 2, С. 25.

28-А Кирик, А.В., Результаты экспериментальных исследований процесса теплообмена в пароконвекционном аппарате/ А.В. Кирик, А.А. Смоляк// Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: програма і матеріали 77-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, Київ, 11–12 квіт. 2011 р.: в 2 ч./ НУХТ, Київ, 2011. – Ч. 2, С. 25–26.

29-А Кирик, И.М., Пароконвекционный аппарат / И.М. Кирик, А.В. Кирик// Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: програма і матеріали 77-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, Київ, 11–12 квіт. 2011 р.: в 2 ч./ НУХТ, Київ, 2011. – Ч. 2, С. 26.

30-А Кирик, А.В. Пароконвектомат для общественного питания / И.М. Кирик, А.В. Кирик // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: програма і матеріали 78 наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, Київ, 2–3 квіт. 2012 р.: в 2 ч./ НУХТ, Київ, 2012. – Ч. 1, С. 333–334.

РЕЗЮМЕ

Кирик Алеся Васильевна

Тепловая обработка подовых хлебобулочных изделий в движущейся паровоздушной среде в аппаратах периодического действия

Ключевые слова: паровоздушная смесь, выпекаемая тестовая заготовка, конвекция, выпечка, коэффициент теплоотдачи, нестационарная теплопроводность, продолжительность выпечки, пароконвекционный аппарат.

Для получения широкого ассортимента хлебобулочных изделий необходимо использование тепловых аппаратов периодического действия с

принудительной циркуляцией греющей среды и разработка технологических рекомендаций по режимам выпечки.

Цель работы – определение продолжительности процесса выпечки подовых хлебобулочных изделий в движущейся паровоздушной среде, создание импортозаменяющей продукции – универсального теплового аппарата периодического действия с вынужденным движением теплоносителя и разработка технологических режимов выпечки подовых изделий из пшеничной муки в аппаратах предложенной конструкции.

Получена аналитическая зависимость поправочного коэффициента, учитывающего влияние относительной влажности воздуха на коэффициент конвективной теплоотдачи от сухого воздуха. Результаты могут быть использованы для расчета процесса теплоотдачи от паровоздушной среды и проектирования утилизационных теплообменных аппаратов.

Получено уравнение, описывающее процесс прогрева выпекаемой тестовой заготовки массой 200 г...500 г из пшеничной муки в форме полушара.

Разработаны методики определения продолжительности выпечки рассмотренной группы хлебобулочных изделий, определения основных технических характеристик тепловых аппаратов периодического действия с принудительной циркуляцией греющей среды.

Для достижения наилучших показателей качества пшеничных изделий предложены технологические режимы их выпечки, получены экспериментальные данные по энергетическим затратам при различных режимных параметрах процесса.

Разработана и внедрена в серийное производство конструкция пароконвекционного аппарата АПК-0,85 с механическим и электронным блоком управления, новизна технического решения которого защищена патентом на полезную модель.

РЭЗЮМЭ

Кірык Алеся Васільеўна

**Цеплавая апрацоўка подавых хлебабулачных вырабаў
у рухомым парапаветраным асяроддзі ў апаратах перыядычнага
дзеяння**

Ключавыя словы: парапаветраная сумесь, выпякаемая цэставая загатоўка, канвекцыя, вылечка, каэфіцыент цеплааддачы, нестацыянарная цеплаправоднасць, працягласць выпечкі, параканвекцыйны апарат.

Для атрымання шырокага асартыменту хлебабулачных вырабаў неабходна выкарыстанне цеплавых апаратаў перыядычнага дзеяння з

прымусовай цыркуляцыйй цепланосьбіта і распрацоўка тэхналагічных рэкамендацый па рэжымах выпечкі.

Мэта работы – вызначэнне працягласці працэсу выпечкі подавых хлебабулачных вырабаў у рухомым парапаветраным асяроддзі, стварэнне імпартазамышчальнай прадукцыі – універсальнага цеплавога апарата перыядычнага дзеяння з вымушаным рухам цепланосьбіта і разработка тэхналагічных рэжымаў выпечкі подавых вырабаў з пшанічнай мукі ў апаратах прапанаванай канструкцыі.

Атрыман аналітычны выраз да паправачнага множніка, які ўлічвае залежнасць каэфіцыента канвектыўнай цеплааддачы ад адноснай вільготнасці паветра ў параўнанні з разліковымі значэннямі да сухога паветра. Вынікі могуць быць скарыстаны для разліку працэсу цеплааддачы ад парапаветранага асяроддзя і праектаванні ўтылізацыйных цеплаабменных апаратаў.

Атрымана раўнанне, якое апісвае працэс прагрэву выпякаемай цеставай загатоўкі масай 200 г...500 г з пшанічнай мукі ў форме паўсферы.

Распрацаваны метадыкі вызначэння працягласці выпечкі разгледжанай групы хлебабулачных вырабаў, вызначэння асноўных тэхнічных характарыстак цеплавых апаратаў перыядычнага дзеяння з прымусовай цыркуляцыйй цепланосьбіта.

Для дасягнення найлепшых паказчыкаў якасці пшанічных вырабаў прапанаваны тэхналагічныя рэжымы іх выпечкі, атрыманы эксперыментальныя дадзеныя па энергетычных выдатках пры розных рэжымных параметрах працэсу.

Распрацавана і ўкаранёна ў серыйную вытворчасць канструкцыя параканвекцыйнага апарата АПК–0,85 з механічным і электронным блокам кіравання, навізна тэхнічнага рашэння якога абаронена патэнтам на карысную мадэль.

SUMMARY

Kirik Alesia Vasilievna

Heat treatment of oven-bottom bakery products in a moving steam-air medium in batch operation apparatus

Key words: steam-air mixture, baked dough piece, convection, baking, heat-transfer coefficient, transient thermal conductivity, baking time, steam convection apparatus.

To obtain a wide range of bakery products it is necessary to use batch operation thermal apparatus with forced circulation of a heating medium and work out

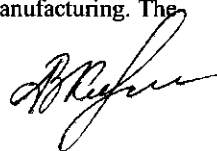
technological recommendations for baking conditions.

The purpose of the work was to determine baking time of oven-bottom bakery products in a moving steam-air medium, to develop import-substituting device - universal batch operation apparatus with forced circulation of heat medium and work out operating conditions of baking oven-bottom wheat flour products in the developed apparatuses.

Analytical dependence of the correction factor taking into account the effect of relative air humidity on the coefficient of convective heat transfer from the dry air was developed. The results can be used to calculate the process of heat transfer from steam air medium and design heat-recovery heat-exchange apparatus.

Equation defining heating process of baked dough pieces weighing 200 g...500 g obtained from wheat flour in the form of a hemisphere was worked out. Methods for determination of baking time of examined bakery products as well as basic technical characteristics of batch operation thermal apparatus with forced circulation of a heating medium were developed. To obtain optimal quality indices of wheat products there were offered technological baking conditions and experimental data on energy costs at various operation parameters were obtained.

The design of steam convection apparatus АПК-0,85 with mechanical and electronic control unit was developed and introduced into series manufacturing. The novelty of the technology is patented by the useful model.



Подписано в печать 16.04.2013. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Ризография.

Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,75.

Тираж 70 экз. Заказ 66.

Отпечатано в учреждении образования
«Могилевский государственный университет продовольствия».

ЛИ № 02330/630 от 31.01.2012 г.

Пр-т Шмидта, 3, 212027, Могилев.