

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
Киевский технологический институт пищевой промышленности

На правах рукописи

ХМЕЛЕВСКАЯ АННА ВАСИЛЬЕВНА

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАДИАЦИОННО-КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ  
СЛОБНЫХ СУХАРЕЙ С ДОБАВЛЕНИЕМ КУКУРУЗНОЙ МУКИ

Специальность 05.18.12 - процессы, машины и агрегаты  
пищевой промышленности

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Киев - 1992

Работа выполнена в Киевском ордена Трудового Красного Знамени технологическом институте пищевой промышленности и Владыквкваском хлебозаводе №2.

Научные руководители: Заслуженный деятель науки и техники Украины, академик Академии технологической кибернетики Украины, доктор технических наук, профессор

А.Э.Володарский

Кандидат технических наук, доцент

И.А.Смольев

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор

А.Э.Вуландра

Кандидат технических наук, ст.н.сотр

Л.И.Каретникова

Ведущая организация - Северо-Осетинское территориальное производственное объединение хлебопекарных и макаронных предприятий "Севосетинхлебпром"

Защита состоится 24 марта 1993 г. в 14-00 часов в зр А-311 на заседании специализированного Совета Д.068.17.04 Киевского технологического института пищевой промышленности по адресу: 252017, г. Киев, ул. Владимирская, 69.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского технологического института пищевой промышленности.

Автореферат разослан 12 02 1993 г.

Ученый секретарь  
специализированного Совета  
кандидат технических наук, доцент

Н.И.Сороколет

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00815303 (К)

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Важнейшими элементами интенсификации производства являются его ускорение и сокращение продолжительности технологических процессов при выработке продукции высокого качества. В современных условиях успешное решение этой задачи обеспечивается не только экономией труда работающих, но и научно-техническим прогрессом в технологии, использовании прогрессивного производственного оборудования.

В общем объеме продукции, вырабатываемой хлебопекарной промышленностью, значительный удельный вес занимают сдобные сухари.

К 1995г. по СНГ производство сухарных изделий увеличится до 250 тыс. т, но их выработка не полностью удовлетворяет спрос.

Главной причиной создавшегося положения является то, что существующие способы их приготовления несовершенны и имеют серьезные недостатки: длительность технологического процесса их производства, использование для сушки непригодных для этой цели хлебопекарных печей.

Важным является развитие ресурсосберегающих технологий на основе рационального использования сельскохозяйственного сырья. Заслуживают внимания продукты переработки различных злаковых, в том числе и кукурузная мука, широко используемая в Северной Осетии при производстве национальных хлебных изделий.

Поэтому разработка рациональных режимов сушки сдобных сухарей и исследование возможностей рационального применения кукурузной муки при производстве сдобных сухарей, позволяющих сократить продолжительность процесса, снизить энергозатраты, повысить качество выпускаемой продукции имеет важное народнохозяйственное значение.

Цель работы. Работа посвящена разработке технологии применения кукурузной муки при производстве сдобных сухарей, всестороннему исследованию процесса их сушки и созданию новой эффективной сушильной установки. Работа проводилась в следующих направлениях :

- исследование влияния кукурузной муки на технологический процесс и качество сдобных сухарей ;
- изучение характера протекания биохимических, коллоидных процессов в тесте с добавлением кукурузной муки ;
- разработка рационального режима термической обработки кукурузной муки ;
- изучение теплофизических характеристик готовой продукции ;
- изучение влияния кукурузной муки на динамику тепломассообменных процессов при сушке сдобных сухарей ;
- изучение влияния кукурузной муки на кинетику тепломассообменных процессов при сушке сдобных сухарей ;
- разработка оптимального режима сушки сдобных сухарей с кукурузной мукой ;
- разработка конструкции опытно-промышленного образца радиационно-конвективной сушильной установки ;
- разработка способа производства нового вида сдобных сухарей ;
- разработка технических условий, технологической инструкции и рецептуры на новый вид сдобных сухарей и внедрение их в производство .

Научная новизна. Впервые на основе использования кукурузной муки установлена возможность создания нового вида сдобных сухарей. Разработан рациональный режим термической обработки кукурузной муки, позволяющий улучшить ее органолептические показатели и пищевую ценность. Обоснована дозировка кукурузной муки

при производстве сдобных сухарей на основе исследования реологических характеристик теста, органолептических и физико-химических, структурно-механических показателей сухарных плит, готовой продукции.

Определены теплофизические характеристики готовой продукции, разработан алгоритм расчета ТЭХ на ЗЕИ Искра-1022.

Исследованы динамика и кинетика тепломассообменных процессов при сушке сдобных сухарей с кукурузной мукой и без нее. Установлен оптимальный режим сушки сдобных сухарей с добавлением кукурузной муки.

Предложен способ производства сдобных сухарей, на который получено положительное решение о выдаче патента от 30.01.92г. по заявке №4926730/13 (030248).

Разработана нормативно-техническая документация на новый вид сдобных сухарей "Солнечные" с добавлением обжаренной кукурузной муки.

Практическая ценность работы состоит в том, что разработан и создан экспериментальный образец опытно-промышленной сушильной установки, проведены испытания и опытно-промышленная проверка режимов сушки на Владикавказском хлебозаводе №2; разработан новый способ производства сдобных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной муки. Расширена местная сырьевая база для производства сдобных сухарей за счет использования кукурузной муки, установлена возможность рационального ее использования.

Разработана нормативно-техническая документация на сдобные сухари "Солнечные", промышленная выработка которых освоена Владикавказским хлебозаводом №2. Экономический эффект составил

33263 руб/год.

Апробация работ. Основные результаты работы докладывались на Всесоюзной (Ташкент, 1991) и республиканской (Киев, 1991) научно-технических конференциях, на научных конференциях Полтавского кооперативного института Центросоюза в 1990, 1991, 1992 гг., на заседаниях Северо-Осетинского республиканского Совета НПО.

Полученные результаты опубликованы также в журнале "Хлебобродунокты", научно-техническом реферативном сборнике ЦНИИТЭИ хлебопродукта СССР.

По теме диссертации опубликовано 6 научных работ, получено положительное решение на выдачу патента от 30.01.92г. по заявке №4926730/13 (030248).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 210 стр. машинописного текста, содержит 37 рисунков и 37 таблиц. Она состоит из введения, пяти глав, выводов и приложений.

Список использованной литературы включает 148 источников отечественных и зарубежных авторов.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ. Обоснована актуальность темы, цель и задачи исследования, основные направления их реализации, дана краткая характеристика работы, показана новизна и практическая ценность диссертации.

ГЛАВА I. Современное состояние технологии и техники сушки слоеных сухарей и пути повышения эффективности (Обзор литературы).

В анализ биохимического состава слоеных сухарей, муки ружной муки. Показаны некоторые их физические свойства и характеристики, подлежащие уточнению и определению с помощью мето-

дами и средствами исследования. Представлены технологические схемы производства сдобных сухарей, одной из основных стадий которых является процесс сушки.

Рассмотрен парк существующего сушильного оборудования для сушки простых и сдобных сухарей. Сушку сдобных сухарей в настоящее время осуществляют, в основном, в хлебопекарных печах различных типов и конструкций, непригодных для этой цели. Что ведет к значительному расходу энергии, повышению себестоимости продукции, ухудшению ее качества.

Приведен анализ способов энергоподвода при сушке сдобных сухарей и их влияние на продолжительность сушки и качество готового продукта. Показано, что использование современных комбинированных, в том числе ПК, способов энергоподвода и переменных режимов для сушки термостабильных материалов, какими являются сдобные сухари, позволяет интенсифицировать процесс сушки, улучшить качество готового продукта, значительно уменьшить энергозатраты.

Отмечено широкое развитие теории, технологии и техники сушки сдобных сухарей на основе применения комбинированных способов энергоподвода, переменных режимов сушки в работах А.В.Лькова, А.С.Гинзбурга, В.В.Красникова, Л.Я.Аузэрмана, А.Т.Лисовенко, А.Ф.Буляндры, А.В.Володарского, Л.И.Пучковой и др.

В результате проведенного анализа сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

ГЛАВА 2. Исследование влияния циркуляционной муки на технологический процесс производства сдобных сухарей. В главе освещены методы контроля качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, а также специальные методы исследования. Структурно-механические свойства теста исследовали на фаринографе "Брабендер", структурно-механические свойства сухарных плит - на па-

нетрометра АП - 4/Г.

С целью улучшения органолептических показателей кукурузной муки и расширения возможностей ее применения предложена радиационно-конвективная термическая обработка.

Обжарку проводили при температуре 120, 140, 160°C. Измерение температуры при обжарке кукурузной муки проводили с помощью хромель-копелевых термопар. Убыль массы определяли с помощью весов марки ВЛСТ-500Н.

Концы обжарки определяли по количеству удалившейся массы. В каждой серии опытов определяли органолептические показатели и химический состав ( табл. I ).

Таблица I

Органолептические показатели и химический состав кукурузной муки при различных параметрах обжарки

Показатели	Кукурузная мука, обжаренная при температуре, °C			
		120	140	160
Время, мин	-	32	25	20
Цвет	светло-желтый	светло-желтый	светло-желтый с золотистым оттенком	золотисто-желтый с темными включениями
Влажность, %	12,3	4,0	4,0	4,0
Общий белок, % на СВ	7,2	6,9	6,8	6,5
Жир, % на СВ	1,5	1,56	1,58	1,67
Общий сахар, % на СВ	50,0	61,0	70,0	69,0
Редуцирующие сахара, % на СВ	1,30	0,60	0,45	0,25

Установлено, что термическую обработку кукурузной муки целесообразно вести при температуре 140°C в течение 25 мин. Снижение ее до 120°C и выше удлиняет процесс обжарки, что экономически невыгодно, повышение — до 160°C и выше, хотя и сокращает время обжарки, однако отрицательно сказывается на органолептических показателях кукурузной муки и ее пищевой ценности.

Обжаренная кукурузная мука имеет приятную золотистую окраску и характерный аромат. Содержание протеинов в кукурузной муке при обжарке уменьшается. По-видимому, увеличение содержания общего сахара объясняется некоторым разложением гликолипидов и глюкотекоидов, кислотным гидролизом крахмала. Наблюдается также некоторое увеличение содержания липидов в результате перехода их из связанных форм в свободное состояние. Уменьшается содержание восстанавливающих сахаров, что объясняется реакцией меланоидинообразования. Внесение обжаренной кукурузной муки способствует увеличению содержания ароматических веществ в сухарных плитках, сдобных сухарях, улучшению вкуса и аромата готовых изделий.

При внесении обжаренной кукурузной муки изменяется количественный и качественный состав клейковины. Содержание ее уменьшается, т.к. основной пролами кукурузы "земли" не формирует клейковину. Но, клейковина укрепляется за счет снижения гидратации. Увеличивается содержание белков не образующих клейковину и не являющихся водорастворимыми, которые служат как-бы стабилизатором структуры теста. Что позволяет поддерживать формоустойчивость заготовок сухарных плит в процессе расстойки и начальный период выпечки.

Для установления максимально возможного количества вводимой обжаренной кукурузной муки при производстве сдобных сухар-

рей изучалось влияние дозировки обжаренной кукурузной муки на структурно-механические свойства теста с целью обеспечения технологии производства изделий на существующем тестоприготовительном и тесторазделочном оборудовании и получения качественного готового продукта. При изучении механизма злипания обжаренной кукурузной муки на структурно-механические характеристики теста были использованы основные положения физико-химической механики дисперсных систем.

Установлено, что внесение 15,0% обжаренной кукурузной муки в тесто отрицательно сказывается на удельном объеме сухарных плит, их пищевой ценности, качестве готовой продукции.

Внесение обжаренной кукурузной муки в количестве 5,0-10,0% способствует получению качественных сладких сухарей с ярко выраженным вкусом и ароматом.

Внесение обжаренной кукурузной муки интенсифицировало изменение структурно-механических характеристики и гидрофильных свойств мякиши сахарной плиты в процессе хранения (табл.2 - табл.3), что способствовало сокращению процесса выдержки-черствения сахарных плит в I,З раза.

Таблица 2

Изменение структурно-механических характеристик мякиша сахарной плиты в процессе хранения

Образцы	Деформация,ед.прибора									
	общая Нюбл.		упругая Нупр.		пластическая Нпр.					
	через		через		через		через		через	
	I	4	20	I	4	20	I	4	20	
	час	час	час	час	час	час	час	час	час	час
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Без добавки	55	36	19	49	32,5	16,7	6	35	2,3	

С добавлением обжаренной кукуруз-

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ной муки, % к массе муки :										
5,0	45	30	16	40,2	27	13,7	4,8	3,0	2,3	
10,0	36	20	12	32,6	17,5	9,8	3,3	2,5	2,2	

Как видно из табл.2, при внесении обжаренной кукурузной муки снижается показатель общей деформации мякиша сахарной плиты. Внесение 10,0% обжаренной кукурузной муки уменьшает общую деформацию мякиша сахарной плиты через 1 час хранения на 34,5%, что объясняется уменьшением содержания белков, образующих клейковину.

Таблица 3

Изменение гидрофильных свойств мякиша сахарной плиты в процессе выдержки-чурствения

Образцы	Удельная набухаемость, мл/г СВ через		
	1 час	4 час	20 час
Без добавок	5,7	5,4	3,5
С добавкой обжаренной кукурузной муки, % к массе муки :			
5,0	5,6	5,3	3,5
10,0	4,9	4,1	3,4

Снижение гидрофильных свойств при внесении обжаренной кукурузной муки объясняется упорядочением и уплотнением структур коллоидов мякиша.

ГЛАВА 3. Исследование технологических закономерностей, определяющих влагоперенос в слоеных сухарях. Обжаренная кукуруз-

ная мука по своей структуре, химическому составу, теплофизическим характеристикам (ТФХ) существенно отличается от пшеничной муки и, несомненно, окажет влияние на характер связывания влаги, на ТФХ сдобных сухарей, кинетику и динамику тепломассообменных процессов при сушке сдобных сухарей.

Исследованы формы связи влаги в мякише сахарной плиты и изменение соотношения их в процессе черствения термоаналитическим методом определения прочносвязанной влаги на дериватографе ОД-102-508/С. Метод основан на зависимости скорости диффузии различных форм влаги в материале от скорости изменения массы нагреваемого образца, которая выражается уравнением дегидратации:

$$\frac{d\lambda}{d\tau} = K(1-\lambda)^n, \quad 111$$

где  $\lambda$  - относительное изменение массы при нагревании;

$$\lambda = \frac{m_i}{m_k} \cdot 100\%, \quad 121$$

здесь  $m_i$  - масса образца в момент  $\tau_i$ , соответствующая температуре образца  $T_i$ ;

$m_k$  - масса образца в конце прогрева;

$K$  - коэффициент диффузии влаги,  $\text{см}^2/\text{с}$ ;

$\tau$  - время нагрева, с;

$n$  - кажущийся порядок реакции.

После ряда преобразований, уравнение принимает вид:

$$\ln[-\ln(1-\lambda)] = \frac{E}{R \cdot T_s^2} \cdot Q, \quad 131$$

линейно связывая относительное изменение массы  $\lambda$  и изменение температуры  $Q = T_i - T_s$ , здесь  $T_i$  - текущая температура, К;  
 $T_s$  - температура максимальной скорости процесса удаления влаги, К;  
 $E$  - температурный коэффициент скорости изменения массы, Дж/моль;

$A$  - газовая постоянная равная 18,3144 Дж/(мольК).

Исследованиями установлено ( табл.4 ) большее содержание свободной влаги в сухарных плитках с обжаренной кукурузной мукой. В результате влага в большей степени терлется в процессе выстойки сухарных плит, что способствует ускорению процесса черствения сухарных плит.

Таблица 4

Влияние кукурузной муки на процесс дегидратации мякиша сухарной плитки в дериватографе

Образцы	!Продолжительность хранения, час!	!Кинетические параметры дегидратации!				
		$\theta_1, \%$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$\theta_2, \%$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$\theta_3, \%$
Без добавок	I	4,7	45	60	150	20
	20	2,5	30	81	147	19
С добавкой 10,0% обжаренной кукурузной муки	I	2,9	40	83,5	155	16,6
	20	3,7	38	81,7	150	18,3

Для более глубокого изучения теплообмена, происходящего при сушке сдобных сухарей с обжаренной кукурузной мукой необходимо знать характер изменения ТМХ.

Как показали проведенные исследования, внесение обжаренной кукурузной муки в тесто вызывает изменение структурно-механических, физико-химических и других свойств сдобных сухарей, которые в свою очередь повлияют на изменение коэффициентов теплопроводности  $\lambda$ , температуропроводности  $Q$  и объемной теплоемкости  $c_p$  сдобных сухарей.

Исследования проводились в лабораторной установке, смонтированной на кафедре теоретической теплофизики и гидравлики КТИП, снималя показания приборов в стадии регулярного режима II рода, т.е. когда в пластине устанавливается линейное распределение, плотности теплового потока и параболическое распределение температуры, при котором скорость изменения температуры  $\frac{dt}{dt} = \text{const}$  во всех точках одинакова:

$$t(x, z) = t_0 + \frac{q_2}{\lambda} \left( \frac{z}{\delta} - \frac{\delta^2 - 3x^2}{6\delta} \right), \quad / 4 /$$

$$q(z, z) = q_2 \frac{z}{\delta} \quad / 5 /$$

Уравнения / 4 / и / 5 / справедливы в стадии регулярного режима II рода не только для всей пластины толщиной  $2\delta$ , но и для любого ее слоя толщиной  $x_1 - x_2 = h$ , если плотности теплового потока на его поверхностях  $q_1$  и  $q_2$  неизменны во времени.

ТЭХ образцов определяли по формулам, полученным из уравнений / 4 / и / 5 /:

$$\lambda = h \left( \frac{2\Delta t}{q_1 + q_2} - R_{\Sigma} \right)^{-1}, \quad / 6 /$$

$$c_p = \frac{1}{h} \left( \frac{q_1 - q_2}{U} - P_{\Sigma} \right), \quad / 7 /$$

$$\alpha = \frac{h^2 \Delta t (q_1 + q_2)}{[(q_1 - q_2)\delta^2 - P_{\Sigma} \delta t][2\delta t - R_{\Sigma}(q_1 + q_2)]}, \quad / 8 /$$

где  $R_{\Sigma}$  - балластное термическое сопротивление;

$P_{\Sigma}$  - балластная теплоемкость.

Вычисление теплофизических величин проводили с помощью ЭВМ Искра 1022. Разработана блок-схема алгоритма и программа расчета ТЭХ.

Значения ТЭХ представлены в табл.5.

Таблица 5

Теплофизические характеристики сдобных сухарей

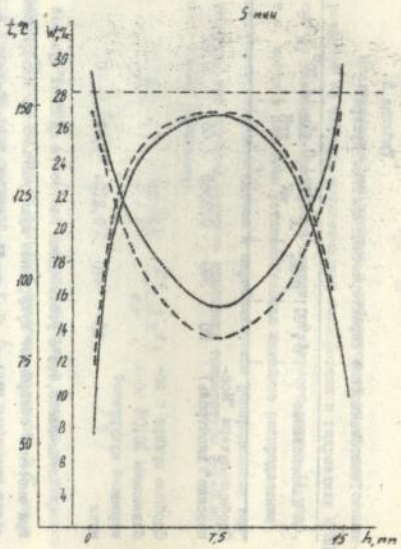
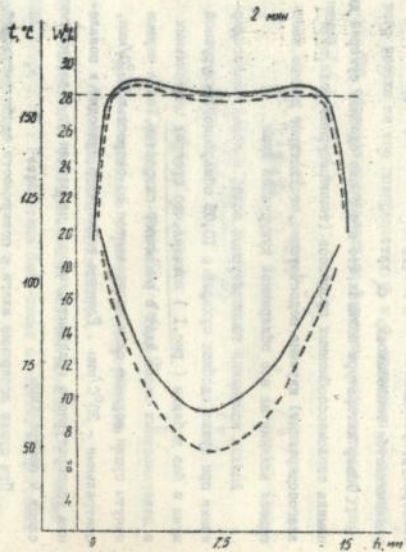
Наименование	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\lambda, \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$	$C, \frac{\text{дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$	$a \cdot 10^6, \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$
Сдобные сухари "Московские" (контроль)	20	390	0,2365	2,66	0,22
Сдобные сухари с добавлением 10,0% обжаренной кукурузной муки	20	410	0,2154	4,01	0,14

Установлено, что с увеличением плотности сдобных сухарей при внесении обжаренной кукурузной муки уменьшается коэффициент температуропроводности  $a$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , увеличивается теплоемкость  $c$ .

Обзор литературы показал, что при сушке сдобных сухарей динамика теплообменных процессов (температурные поля, поля влагосодержания) изучена недостаточно, отсутствуют данные, касающиеся влияния на нее обжаренной кукурузной муки.

Анализ изменения температурных полей и полей влагосодержания при сушке сдобных сухарей с 10,0% обжаренной кукурузной муки и без добавки (рис. I) показал, что прогрев центральных и поверхностных слоев идет с различной скоростью. Так, в первые минуты сушки верхние слои прогреваются со скоростью  $50^\circ\text{C}/\text{мин}$ , центральные -  $30^\circ\text{C}/\text{мин}$ . Разница температур приводит к появлению температурного градиента, который направлен от поверхностных слоев к центральным.

При сушке испарение влаги с поверхности сдобных сухарей создает перепад влагосодержания, что вызывает появление градиента



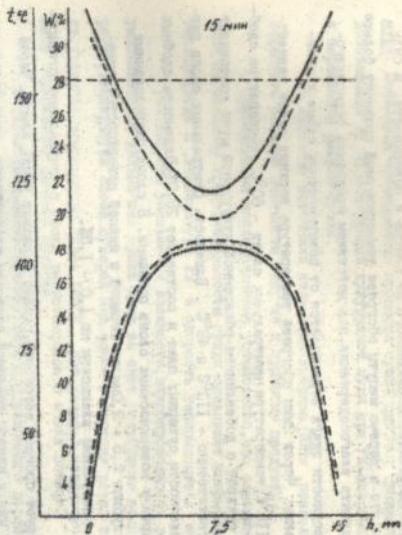
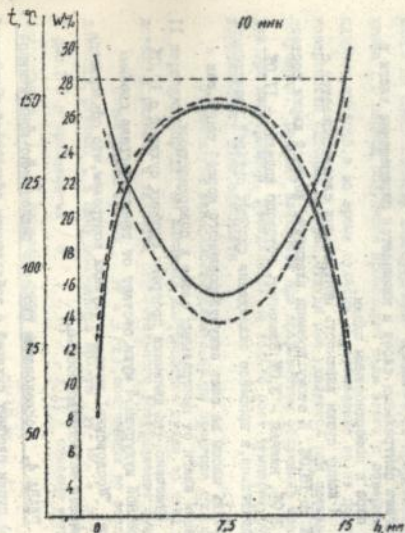


Рис. I. Температурные поля и поля влагосодержания при сушке сдобных сухарей толщиной 15 мм при длительности сушки 2-15 мин (контроль - сплошная линия, с добавлением обжаренной кукурузной муки - штрихом).

влагосодержания, направленного от центра к поверхности. В силу того, что в первые минуты обогрева температурный градиент больше градиента влагосодержания, под действием градиента термовлагопроводности влага перемещается от поверхностных слоев к центральным. Через 2 мин прогрева температура верхних слоев равняется  $115^{\circ}\text{C}$ , температура центральных слоев -  $60^{\circ}\text{C}$ , температура слобных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной муки составляет соответственно -  $110^{\circ}\text{C}$  и  $48^{\circ}\text{C}$ . Влажность центральных слоев равна влажности сухарных плит и составляет 28,0%. Влажность слобных сухарей у поверхностных слоев понижена. В слоях, расположенных на глубине 2,5 - 3,0 мм от верхней и нижней поверхностей, отмечено увеличение влажности на 1,0 - 1,5%.

Перенос влаги с поверхностных слоев в центральные интенсифицирует прогрев заготовки, однако тормозит убыль влаги. Через 6 - 8 мин, к началу падающей скорости влагоотдачи, зона испарения достигает центральных слоев и начинается перемещение влаги в виде пара к поверхностным слоям.

К концу сушки влажность центральных слоев снижается с 29,0% до 18,0%. К этому времени влажность верхней корки составляет 2,0%, нижней - 3,0%. Влажность готового изделия - 11,0%, следовательно, в процессе охлаждения слобных сухарей происходит как убыль массы за счет аккумулированного коркой тепла, так и миграция влаги от центральных слоев к поверхностным.

Отмечено, что динамика прогрева слобных сухарей с 10,0% обжаренной кукурузной муки отстает от темпов нагрева слобных сухарей "Московские", которые служили контролем, что объясняется их меньшей теплопроводностью.

ГЛАВА 4. Исследование процесса радиационно-конвективной (РК) сушки слобных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной

муки. Посвящена исследованию процесса сушки сдобных сухарей с добавлением 10,0% обжаренной кукурузной муки при РК-энергоподводе и переменном режиме сушки.

В качестве источника излучения выбраны ТЭНы, позволяющие подводить большие плотности энергии к сушиму продукту.

Проведенными исследованиями установлено, что основное влияние на величину продолжительности сушки оказывает интенсивность теплоподвода  $E$ , температура  $t^{\text{с}}$  и скорость теплоносителя  $w^{\text{с}}$ .

Так как, при уменьшении влажности, влагопроводность резко уменьшается и дальнейшая сушка идет за счет углубления зоны испарения, температура слоев сухарей над зоной испарения резко возрастает, достигая температуры более  $140^{\circ}\text{C}$ , при которой начинается процесс обугливания сдобных сухарей.

С целью уменьшения влияния термодиффузионного переноса влаги на интенсивность влагоудаления применялось прерывистое облучение. В период облучения происходит сьем влаги с поверхности сдобных сухарей, а во время отлежки - перемещение ее из центра к поверхности сдобных сухарей, откуда она удаляется при последующем облучении. Градиент влажности при прерывистом облучении меньше, чем при непрерывном. Замедляется не только рост температуры, но и вращивается поле влажности.

Установлены зависимости длительности процесса сушки в I и II периодах, определены значения коэффициента сушки во всех исследованных режимах и значение относительного коэффициента сушки.

Совмещением кривых  $W = f(\tau)$ , полученных во всех исследованных режимах, в одну обобщенную кривую  $W - W_p = f(N\tau)$  (рис.2) и уравнениями / 9 /, / 10 /, / II / описана кинетика влагообмена в I и II периодах сушки:

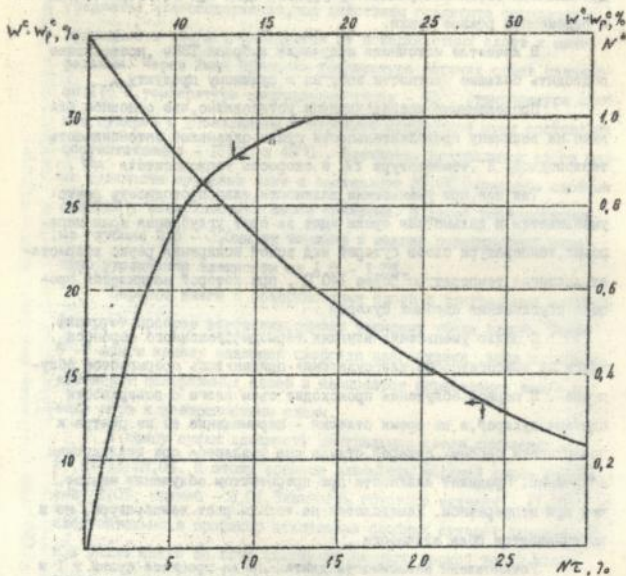


Рис.2 . Обобщенная кривая кинетики сушки и обобщенная кривая скорости сушки сдобных сухарей с добавлением 10,0% обжаренной кукурузной муки

$$W_T = W_H - N_{I\tau} \quad / 13 /$$

$$W_T - W_p = (W_{kp} - W_p) \quad / 10 /$$

$$\lambda = \frac{G_p (W_{kp} - W_p) - G_d (W_H - W_p)}{N_{I\tau}} \quad / 11 /$$

Предложено уравнение / 12 / общей длительности процесса сушки сдобных сухарей с учетом относительного коэффициента сушки  $\lambda$  для всех исследованных режимов:

$$\tau_{де} = \frac{1}{\lambda H} [W_H - W_{kp} + \frac{1}{\lambda} G_p \frac{W_{kp} - W_p}{W_2 - W_p}] \quad / 12 /$$

ГЛАВА 5. Практическая реализация результатов исследования. Приводится расчет процесса теплообмена при РК-сушке сдобных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной муки, расчет экономической эффективности применения РК-сушильной установки для сушки сдобных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной муки и разработанная нормативно-техническая документация на новый вид сдобных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной муки - сдобные сухари "Солнечные".

Эффективный коэффициент теплообмена, необходимый для расчета процессов сушки, можно определить, используя уравнение:

$$\lambda_{эф} = \lambda_{сдоб} + \lambda_{кп} + \lambda_{кпс} \quad / 13 /$$

В результате математической обработки экспериментальных данных по РК-сушке сдобных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной муки получено критериальное уравнение:

$$N_{II} = 0,05 \cdot A_e \quad / 14 /$$

для расчета эффективного коэффициента теплообмена  $\alpha_{\text{эф}}$  при интенсивности теплоподвода  $E = 4600 - 5700 \text{ Вт/м}^2$ ; температуре теплоносителя  $t_{\text{т}} = 100 - 130^\circ\text{C}$ ; скорости сульфидного агента  $w_{\text{т}} = 1,5 - 4,5 \text{ м/с}$ ; относительной влажности теплоносителя  $\varphi_{\text{т}} = 3,0 - 8,0\%$ ; расстоянии от источника излучения  $H = 0,1 - 0,25 \text{ м}$ ; периоде осциллирования  $T = 2,5 - 3,0$ .

Зависимость  $M_{\text{в}} = f(R_{\text{в}})$  при РИ-сушке сдобных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной муки представлена на рис.3.

Методом математического планирования многофакторного эксперимента установлен оптимальный режим РИ-сушки сдобных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной муки, который описывается следующим уравнением регрессии:

$$Y = 26,32 - 6,47X_1 - 4,57X_2 - 1,25X_3 + 0,75X_4, /16/$$

где  $Y$  - продолжительность сушки, мин;

$X_1$  - интенсивность теплоподвода,  $\text{Вт/м}^2$ ;

$X_2$  - температура теплоносителя,  $^\circ\text{C}$ ;

$X_3$  - скорость движения теплоносителя,  $\text{м/с}$ ;

$X_4$  - относительная влажность теплоносителя, %.

В результате реализации программы по методу наискорейшего спуска были определены значения оптимального режима процесса сушки сдобных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной муки: интенсивность теплоподвода  $E = 8000 \text{ Вт/м}^2$ ; температура теплоносителя  $t_{\text{т}} = 135^\circ\text{C}$ ; скорость движения теплоносителя  $w_{\text{т}} = 2,5 \text{ м/с}$ ; относительная влажность теплоносителя  $\varphi_{\text{т}} = 4,5\%$ . При этом, расстояние от источника излучения составляло  $H = 0,25 \text{ м}$ ; отношение длительности нагрева к длительности отлежки равно  $\frac{t_{\text{н}}}{t_{\text{о}}} = \frac{1,5 \text{ мин}}{1,0 \text{ мин}}$ .

Приводится описание предложенного способа производства

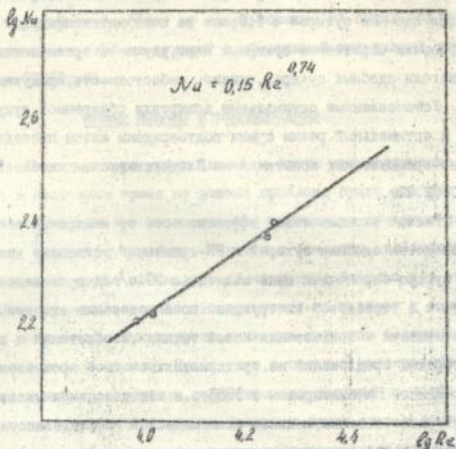


Рис. 3. Зависимость  $Nu = f(Re)$  при РК-сушке сложных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной муки

сдобных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной муки, нормативно-техническая документация на сдобные сухари "Солнечные".  
 На способ производства сдобных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной муки получено положительное решение о выдаче патента от 30.01.92г. по заявке №4926730/13(030248).

Использование обжаренной кукурузной муки при производстве сдобных сухарей позволяет ускорить технологический процесс производства сдобных сухарей в I,3 раза за счет интенсификации процесса выдержки-черствения сахарных плит, улучшить органолептические показатели сдобных сухарей, снизить себестоимость продукции.

Установленные оптимальные дозировки обжаренной кукурузной муки и оптимальный режим сушки подтверждены актом проведенных опытно-промышленных испытаний на Владикавказском хлебозаводе №2 от 20.02.92г.

Расчет экономической эффективности от внедрения способа производства сдобных сухарей и РК-сушильной установки для их сушки в сахаро-бараночном цехе мощностью 294т/год произведен в соответствии с отраслевой инструкцией по определению экономической эффективности использования новой техники, изобретений и рационализаторских предложений на предприятиях пищевой промышленности, утвержденной Минпищепромом в 1983г. и методическими указаниями по совершенствованию анализа экономической эффективности от внедрения новой техники на предприятиях пищевой промышленности, утвержденной техническим управлением Министерства пищевой промышленности СССР от 23 августа 1985г.

За базу сравнения был принят применяемый на хлебозаводе способ сушки сдобных сухарей в печах ПХС-25.

Установка РК-сушильной установки для сушки сдобных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной муки позволит хлебозаводу:

- увеличить объем производства сдобных сухарей, пользуясь повышенным спросом у населения ;
- получить дополнительную прибыль от увеличения объема производства ;
- уменьшить длительность производственного цикла ;
- повысить производительность труда .

Экономический эффект от использования РН-сушильной установки для сушки сдобных сухарей с обжаренной кукурузной мукой составил 33263руб.

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Анализ литературных данных и опыта промышленности показал, что в настоящее время не решена проблема сушки сдобных сухарей, интенсификации процесса выдержки-черствения сухарных плит. Для сушки сдобных сухарей применяется, в основном, хлебопекарные печи различных типов и конструкций, непригодные для этой цели. Поэтому, использование их нерационально и ведет к значительным энергетическим затратам, снижению качества продукции, увеличению ее себестоимости. Кроме того, в связи с механизацией и автоматизацией производства, созданием его поточности, необходима установка двух печей : для выпечки сухарных плит и другая - для сушки сдобных сухарей, в результате возникает дополнительные трудности с их размещением на предприятии . Анализ также показал перспективность РН-энергоподвода при переменных режимах сушки термолabileльных материалов, к каким относятся и сдобные сухари.

2. В работе представлены результаты проведенных впервые исследований сушки сдобных сухарей с добавлением кукурузной муки, которая широко используется в Северной Осетии для производства

национальных хлебобулочных изделий. Исследования проведены на лабораторной установке и на опытно-промышленном образце РК-сушильной установки.

3. Систематизированы свойства сдобных сухарей как объекта сушки.

4. Подобрана максимально возможная замена пшеничной муки на обжаренную кукурузную муку при производстве сдобных сухарей - 5,0 - 10,0%.

5. Обжарка кукурузной муки положительно влияет на ее органолептические показатели и органолептические показатели сдобных сухарей, улучшается их аромат.

6. Отмечено упрочняющее воздействие обжаренной кукурузной муки на структурно-механические свойства теста.

7. При внесении обжаренной кукурузной муки уменьшается общая деформация мякиша сухарной плиты при нагрузке, а также его относительная упругость в течение всего срока выдержки-черствения. Интенсифицируется снижение гидрофильных свойств мякиша сухарной плиты, т.е. наблюдается ускорение черствения сухарных плит.

8. За счет интенсификация процесса выдержки сухарных плит, длительность технологического процесса производства сдобных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной муки сокращается в 1,3 раза, что повышает технологическую гибкость производства сдобных сухарей.

9. Экспериментально установлено изменение соотношения различных форм связанной влаги в мякише сухарной плиты. Отмечено увеличение содержания свободной влаги при внесении обжаренной кукурузной муки.

10. Определены теплофизические характеристики сдобных сухарей с добавлением 10,0% обжаренной кукурузной муки.

11. Исследована динамика теплообмена при сушке сдобных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной муки.

12. Выявлены причины, способствующие интенсификации процесса сушки при РК-энергоподводе, при переменном режиме сушки, установлены зависимости длительности процесса сушки в первом и втором периодах, определены значения относительного коэффициента сушки для всех исследованных режимов.

13. Кинетика влагообмена описана обобщенной кривой сушки и обобщенной кривой скорости сушки.

14. Предложено уравнение общей длительности процесса сушки.

15. На основании проведенных лабораторных и промышленных испытаний обоснован оптимальный режим сушки сдобных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной муки.

16. Предложено обобщенное критериальное уравнение для расчета эффективного коэффициента теплообмена.

17. Разработана конструкция опытно-промышленного образца РК-сушильной установки для сушки сдобных сухарей.

18. Разработана нормативно-техническая документация на новый вид сдобных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной муки, производство которых освоено Владикавказским хлебозаводом №2.

19. Экономический эффект от использования РК-сушильной установки для сушки сдобных сухарей с добавлением обжаренной кукурузной муки в сахарном цехе производительностью 300т/год составил 33263руб/год.

20. Практическая ценность и научная новизна работы подтверждены положительным решением на выдачу патента от 30.01.92 по заявке №4926730/13(030248).

#### СПИСОК РАБОТ, СПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Положительное решение №4926730/13(030248) от 30.01.92. По заявке №4926730/13(030248) от 08.04.91, Способ приготовления

- сдобных сухарей/А.В.Хмелевская,И.А.Сысоев,А.В.Володарский.
2. Производство сдобных сухарей с использованием кукурузной муки/А.В.Хмелевская,И.А.Сысоев,А.В.Володарский//Всесоюзная конф."Ученые и специалисты в решении социально-экономических проблем страны":Тез.докл.-Ташкент,1991.С.182-183.
  3. Применение кукурузной муки в производстве сдобных сухарей /А.В.Хмелевская,И.А.Сысоев,А.В.Володарский//Респ.научно-техн. конф."Разработка и внедрение высокоэффективных ресурсосберегающих технологий,оборудования и новых видов пищевых продуктов в пищевую и перерабатывающие отрасли АПК":Тез.докл.-М., 1991.С.308.
  4. Хмелевская А.В.,Володарский А.В.,Сысоев И.А.Экспериментальная установка для исследования и обоснования оптимальных режимов сушки сдобных сухарей.М.1990.-2с.-Деп. в ЦНИИТЭИПищепром.-16.01.90, №1-27/ХБ-90.
  5. Хмелевская А.В.,Сысоев И.А.,Володарский А.В.Влияние добавок кукурузной муки на свойства теста и качество сдобных сухарей. Информационный сборник "Передовой опыт и научно-технические достижения, рекомендуемые для внедрения".Вып.8.-М.:ЦНИИТЭИ Минхлебопродукта СССР,1990.-39с.
  6. Хмелевская А.В.,Сысоев И.А.,Володарский А.В.Рациональный режим обжарки кукурузной муки в производстве сдобных сухарей //Хлебопродукты.-1992.-№ 3.-С.26-32.
  7. Хмелевская А.В.,Сысоев И.А.,Володарский А.В.Тепло-и массо-перенос при сушке сдобных сухарей//Хлебопродукты.1992.№4.-С.20-22.

Адрес: Москва, ул. Мясницкая, д. 10

УТВЕРЖДАЮЩИЙ: \_\_\_\_\_  
И. И. Иванов

Исполнитель: \_\_\_\_\_  
С. С. Петров

Подпись: \_\_\_\_\_

сдобных сухарей / А. В. Хмелевская, Е. А. Савина, А. В. Волосидерская.

2. Производство сдобных сухарей с добавлением кукурузной муки / А. В. Хмелевская, Е. А. Савина, А. В. Волосидерская / Тезисы докладов. Ученые и специалисты в решении социально-экономических проблем страны. (Тез. докл. - Ташкент, 1991. С. 102-103).
3. Привнесение кукурузной муки в дрожжевые сдобные сухари / А. В. Хмелевская, Е. А. Савина, А. В. Волосидерская / Тезисы докладов-вып. конф. "Технология и внедрение инновационных, дисперсионно-гелевых технологий, оборудования и новых видов пищевой продукции в пищевой и переработочной отрасли ИСР" (Тез. докл. - Т., 1991. С. 32).
4. Хмелевская А. В., Волосидерская А. В., Савина Е. А. Совершенствование технологии для производства и обеспечения оптимальных условий сдобных сухарей. М. 1990. - 26 с. - Док. в ЦНИИТЭпишпрод. - 16.01.90. 81-79/10-90.

Анна Васильевна Хмелевская

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАДИАЦИОННО-КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ  
СДОБНЫХ СУХАРЕЙ С ДОБАВЛЕНИЕМ КУКУРУЗНОЙ МУКИ**

---

Подписано к печати 27.10.1992 г.      Форм. бум. 60x84/16.  
Печ. л. 1,75.      Учетно-изд. л. 1,73      Зак. 1446.  
Всеплатно.

---

Типография КВИРТУ ИВО

00714

Ab 26.808

**AB 26.808**