

## ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА ВЫПЕЧКИ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

А.Н. Дорохович, В.В. Дорохович, В. И. Теличкун  
*Национальный университет пищевых технологий (Киев)*  
С. Ташева, Г. Вълчев  
Университет пищевых технологий (Пловдив)

## REASONING OF THE REGIME FIRING OF PASTA PRODUCTS

A.N. Dorohovich, V.V. Dorohovich, V. I. Telichkun  
*National university of food technologies (Kiev)*  
S. Tasheva, G. Valchev  
*University of food technologies (Plovdiv)*

**Abstract:** The article highlights the basic chemical, physical, chemical, structural and mechanical processes that take place during heat treatment of flour confectionery. Based on the studies the basic parameters of baking biscuits, cakes, muffin, gingerbread. When you set the optimal baking modes investigated the mechanism of heat and mass processes, kinetics and central heating the surface layers of biscuits, cakes, muffin, gingerbread. For each study pastry products determined the total costs of heat during baking, which consist of heat consumption for heating billets and heat consumption for evaporation. Pastry flour confectionery products in the range  $0.25-0.75 = \Theta$  requires maximum expenditure of heat for heating billets and endothermic processes. When baking in the range  $\Theta = 0.75 - 1.0$  heat flow must be reduced by 30% because the heat is mainly consumed in the evaporation of water from the upper surface of the workpiece.

**Ключевые слова:** Мучные кондитерские изделия, теплообменные процессы, денатурация, клейстеризация, кинетика, зона обогрева.

**Введение.** Одной из главных технологических операций производства мучных кондитерских изделий (МКИ) является их термическая обработка, в результате которой, тестовые заготовки приобретают новые качества, формирующие органолептические, структурно-механические свойства готового продукта с соответствующими характеристиками, которые обеспечивают стабильные показатели качества в течение установленного срока хранения. Такой процесс нужно рассматривать как комплекс гетерогенных реакций, обусловленных изменениями химических, физико-химических, структурно-механических процессов, кинетика которых вместе с кинетикой переноса теплоты и влаги определяет механизм и скорость протекания процесса термообработки.

Все МКИ по природе есть коллоидными, а по структуре - капиллярно-пористыми телами, которые состоят из трех фаз: твердой, жидкой и газовой. Соотношение этих фаз в различных МКИ отличается, и в процессе термообработки происходит изменение этого соотношения. Тепловая обработка МКИ является своеобразным процессом прогрева влажного коллоидного капиллярно-пористого тела, в котором перенос теплоты связан с переносом влаги. Поэтому механизм внутренних теплообменных процессов, который происходит во время прогрева МКИ, нужно рассматривать с точки зрения научных положений о характере связи влаги с материалом, так и с позиций современной теории переноса теплоты во влажных материалах [1-3].

Исследование процессов, происходящих при термической обработке МКИ, выполняются двумя методами: молекулярно-кинетическим и термодинамическим [1]. Первый метод основан на теории тепло- и массопереноса во влажных капиллярно-пористых телах при условии наличия и возникновения в них фазовых превращений. Эта теория показывает молекулярную природу и механизм явлений, обуславливающих кинетику их прохождения. Второй метод основан на известных законах классической термодинамики. С помощью этого метода изучают энергетическое воздействие движущих сил. Процесс переноса теплоты во время прогрева МКИ следует определять не только законами теплопроводности Фурье, но и законами переноса влаги, а переноса влаги - не только законам диффузии Фика, но и законами переноса теплоты. Процессы переноса обусловлены формами связи влаги с материалом и их изменением при термообработке. По классификации П.А. Ребиндера [2] тестовые заготовки содержат осмотическую и адсорбционно связанную влагу, капиллярно-пористая структура тестовых масс МКИ предопределяет наличие также капиллярной влаги, содержащейся в макро- и микрокапиллярах. Когда тестовую заготовку МКИ помещают в пекарную камеру, то при контакте с теплым воздухом начинается процесс испарения влаги с поверхности изделия в среду рабочей камеры, т.е. происходит внешняя диффузия влаги. При испарении влаги с поверхности изделия возникает перепад влажности между внутренними и поверхностными слоями

заготовки, вызывает перемещение влаги в поверхностных слоях, т.е. происходит внутренняя диффузия влаги. Перемещение влаги происходит по закону влагопроводности, по которому плотность потока влаги ( $i_m$ ) (количество влаги, которая перемещается через единицу поверхности за единицу времени) пропорциональна градиенту потенциала вещества.

$$i_m = -\lambda_m \nabla \theta_m, \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}) \quad (1)$$

где  $\lambda_m$  - коэффициент массопереноса,  $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ;

$\theta_m$  - градиент потенциала вещества,

ед.потенциала  $\text{kg}/\text{m}$

Градиент потенциала вещества можно представить через градиент влагосодержания теста  $\nabla U$ .

$$\nabla \theta_m = -\frac{1}{C_m} \nabla U \quad (2)$$

где  $C_m$  - удельная массоемкость, ед.потенциала  $\text{kg}/\text{kg}$ ;

$\nabla U$  - градиент влагосодержания,  $\text{kg}$  вл./ $\text{kg}$  с.в.м.

Тогда плотность потока вещества  $i_m$  (поток влаги) можно представить в виде следующей зависимости

$$i_m = -\frac{\lambda_m}{C_m} \nabla U_m = -\frac{\lambda_m}{C_m \gamma_o} \gamma_o \nabla U_m = -a_m \rho_o \nabla U_m \quad (3)$$

где  $a_m = \frac{\lambda_m}{C_m \rho_o}$  - коэффициент потенциалопроводности влаги, аналогичный коэффициенту температуропроводности теплоты;

$\rho_o$  - масса сухого вещества в единице объема материала,  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

В случае неизотермического переноса влаги, т.е. когда прогрев влажного материала обусловлен наличием не только градиента влагосодержания, а температурного градиента  $gradt = n^o \frac{dt}{dn}$ , влага внутри тестовой заготовки будет двигаться как под влиянием влагопроводности (под действием градиента влагосодержания  $\nabla U$ ), так и под влиянием сил термовлагопроводности.

Явление термовлагопроводности представлено такой зависимостью:

$$i_t = -a_m \rho_o \delta \nabla T \quad (4)$$

где  $i_t$  - плотность потока влаги, обусловленная термовлагопроводностью,  $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ;

$\delta$  - термоградиентный коэффициент влажного материала,  $\text{kg}_{\text{вол}}/(\text{kg}_{\text{с.в.трал}})$

$\rho_o$  - плотность потока влаги, обусловленной термовологопроводностью,  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

Если направления градиента влагосодержания ( $\nabla U$ ) и температурного градиента ( $\nabla T$ ) совпадают, тогда совпадает направление соответствующих потоков, которые суммарно дают общий поток влаги  $i = i_t + i_m$ . Если направление градиента  $\nabla U$  и  $\nabla T$  не совпадает, тогда направление потока влаги будет зависеть от количественного соотношения сил влагопроводности и термовлагопроводности. Если

значение термовлагопроводности будет больше влагопроводности, что характерно для процесса выпечки, тогда влага движется в направлении потока тепла, преодолевая сопротивление влагопроводности, тогда общий поток влаги определяют по формуле  $i = i_t - i_m$ .

Для процесса сушки характерно преобладание градиента влагопроводности над градиентом термоволопроводности.

Г.И. Покровский и Н.А. Наседкин установили, что перемещение влаги происходит под воздействием воздуха (газовой фазы). Во время нагрева заготовок воздух в порах расширяется и упругость водяных паров уменьшается. Тогда расширяющийся воздух, проталкивает жидкость в слои с низкой температурой. Во время термической обработки тестовых заготовок, которые имеют значительное количество газовой фазы, например бисквиты, дисперсная воздушная фаза играет существенную роль, и тогда описание потока влаги будет иметь следующий вид  $i = i_t - i_m - i_p$ .

Последняя составляющая - это плотность потока вещества (влаги), движущийся за счет избыточного давления воздуха.

$$i_p = -D \rho_o \nabla P \quad (5)$$

где  $D$  - коэффициент молярного переноса

$\Delta P$  - градиент давления, Ра

Данная работа посвящена определению механизма выпечки бисквитов, кексов, маффинов, пряников с целью установления оптимальных параметров выпечки каждой группы изделий.

В процессе термической обработки теплота от поверхностных слоев до центральных передается теплопроводностью. Согласно уравнению теплопроводности Фурье, поток теплоты прямо пропорционален градиенту температуры, и для изотропных тел имеет вид:

$$q = -\lambda \nabla t, \quad (6)$$

где  $q$  - плотность теплового потока,  $\text{W}/\text{m}^2$ ;

$\lambda$  - коэффициент теплопроводности,  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ;

$\nabla t$  - градиент температуры,  $\text{K}/\text{m}$

При теплообмене, сопровождающемся массообменом, зависимость имеет вид:

$$q = -\lambda \nabla t + \sum_{i=1}^n I_i, \quad (7)$$

где  $\sum_{i=1}^n I_i$  - поток тепла, что передается продукту массой влаги;

$I$  - энтальпия влаги, что движется в виде жидкости и пары, под влиянием температурного градиента,  $\text{J}/\text{kg}$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Во время выпечки тестовых масс МКИ, кроме изменения температуры и влажности, происходят сложные органолептические, физико-химические и

структурно-механические изменения, которые влияют на показатели качества готового продукта: объем, форму, структуру, цвет, вкус. При выпечке происходят значительные изменения белков и крахмала муки, которые играют основную роль в образовании структуры. При прогревании теста до температуры 50-70°C значительная часть белков денатурирует. Денатурированные белки освобождают воду, которую они поглощают во время замешивания теста. В интервале температур 55-80°C происходит клейстеризация крахмала. Крахмал клейстеризуется частично из-за ограниченного количества воды в тесте. Структура - это матрица, которая, в основном, состоит из сахара, обезвоженных и коагулированных белков клейковины и меланжа, частично клейстеризованного крахмала. На поверхности пористого "скелета" адсорбируется жир в виде тонких пленок. Если в состав теста входит сахар и жир в большом количестве, то структура его при увеличении температуры становится мягкой и фиксируется при охлаждении, после выхода изделий из печи.

Образование структуры МКИ при термообработке зависит как от денатурации белков и клейстеризации крахмала, так и от воздействия химических разрыхлителей и водяного пара, который образуется в это время. При нагревании тестовых заготовок до 60°C разрыхление теста происходит за счет разложения углеаммонийной соли на аммиак и углекислоту. При температуре 80-90°C происходит разложение гидро-

карбоната натрия с выделением углекислоты. Раньше считали, что разрыхление теста водяным паром происходит, когда температура заготовки достигает более 100 °С. Однако, исследования Дункана Мэнли [4] показали, что увеличение объема тестовой заготовки водяным паром начинается значительно раньше. Увеличение объема вследствие повышения давления водяного пара, в случае увеличения температуры, ограничено структурой теста, то есть силами поверхностного натяжения, в маленьких пузырьках значительно больше, чем в пузырьках большого размера. Вследствие потери влаги из поверхностного слоя образуется прочная корка, теплопроводность которой значительно меньше, чем теста и мякиша, поэтому тепло после образования корочки передается менее интенсивно. В работе [6] определено, что теплопроводность верхней корочки бисквита равна 0,06 W / (m.K), нижней и боковых - 0,11 - 0,12 W / (m.K), теплопроводность теста - 0,2 W/(m.K). Причиной различной теплопроводности является разное влагосодержание. Приведенные положения были нами учтены при исследовании механизма процессов, происходящих при выпечке бисквитов, пряников, кексов, маффинов [2,4].

С помощью математического метода многофакторного планирования эксперимента были определены оптимальные параметры процесса выпечки бисквитов, кексов, маффинов, пряников (табл.1).

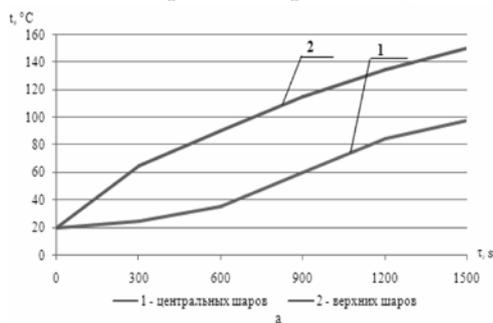
Таблица 1

**Параметры выпекания мучных кондитерских изделий**

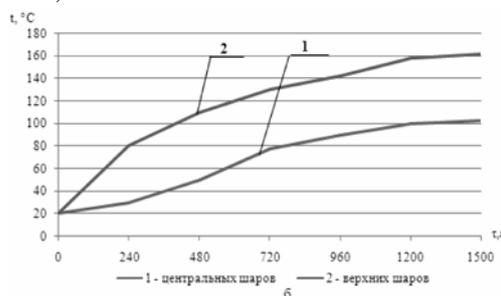
Мучные кондитерские изделия	Вес, г	Температура, °С			Продолжительность выпечки, τ, s.
		Пекарной камеры $t_{п.к.}$ , °С	Центральных шаров тестовой заготовки в конце выпечки $t_{ц.}$ , °С	Верхних шаров тестовой заготовки в конце выпечки $t_{в.}$ , °С	
Бисквиты	200,0	170,0	97,0-98,0	145,0-150,0	1530,0
Кексы	75,0	200,0	102,0-103,0	155,0-160,0	1470,0
Маффины	60,0	180,0	100,0-101,0	155,0-160,0	1560,0
Пряники	25,0	210,0	103,0-104,0	160,0-165,0	720,0

На рис. 1. приведена кинетика прогрева центральных и поверхностных слоев при выпечке бисквитов, кексов, маффинов, пряников при установленных оптимальных режимах.

Анализ полученных данных показал много общих закономерностей процессов,



происходящих при выпечке бисквитов, кексов, маффинов, пряников. Так, в первые минуты выпечки наблюдается быстрое увеличение температуры поверхностных слоев во всех образцах. Скорость прогрева составляет 0,16-0,25K/s, в то время, как прогрев центральных слоев происходит со скоростью 0,033-0,035K /s.



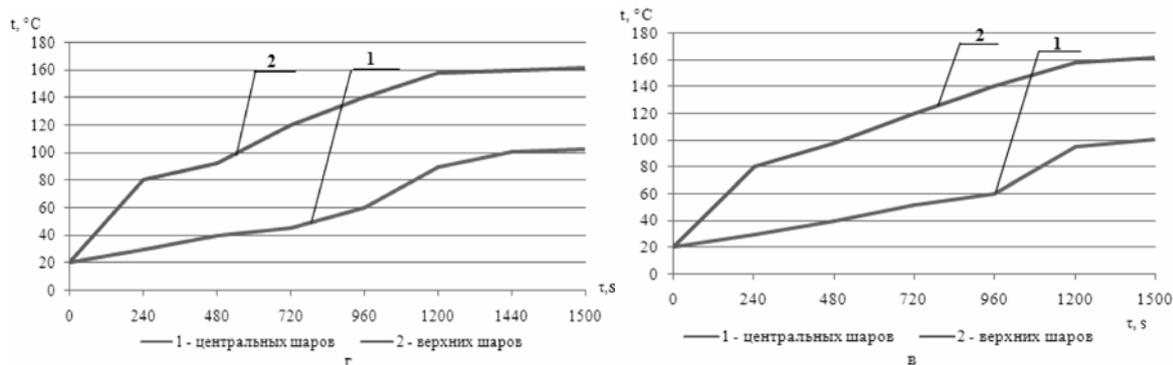


Рис. 1. Изменение температуры в процессе прогрева:  
а – бисквитов, б – кексов, в – маффинов,

После достижения температуры поверхностными слоями 100°C, скорость прогрева замедляется вследствие образования корочки. Прогрев центральных слоев до температуры 60-65°C происходит с меньшей скоростью, потому что идет потеря теплоты на эндотермические процессы: разложения химических разрыхлителей, рост тестовых заготовок, денатурация белков, клейстеризация крахмала. После прогрева центральных слоев тестовой заготовки до температуры 60-70°C, наблюдается увеличение скорости прогрева до 0,083-0,13K/s. Это объясняется тем, что основные эндотермические процессы завершены и тепло расходуется на прогрев заготовки и испарение влаги. На рис. 2 приведены кривые кинетики тепло поглощения и общие затраты теплоты (q), которые складываются из затрат теплоты на прогрев заготовки (q<sub>пр</sub>) и затрат теплоты на испарение (q<sub>исп</sub>).

Расход теплоты в процессе выпекания рассчитывали через 120 s (Рис.2) по следующей формуле:

$$q = q^T + q^M + q^K + q_{исп} \quad (8)$$

где  $q^T$ ,  $q^M$ ,  $q^K$  – потери теплоты на прогрев соответственно теста, мякиша, корочки, kJ/kg;  
 $q_{исп}$  – потери теплоты на испарение влаги и на прогрев пара до температуры корочки, kJ/kg.

Потери теплоты на прогрев теста, мякиша, корочки определяли по формуле:

$$q = c \cdot g \cdot \Delta t \quad (9)$$

где c – удельная теплоемкость соответственно теста, мякиша, корочки, kJ/(kg.K);

g – вес соответственно теста, мякиша, корочки, kg;

$\Delta t$  – соответственно среднее значение температуры за 60s.

Потери теплоты на испарение влаги определяли по формуле:

$$q_{исп} = r \cdot g_{уп} + c_{п.п} (t_{п.к} - t_k) \quad (10)$$

где r – теплота испарения влаги при средней температуре верхнего шара;

$g_{уп}$  – потери массы через 120 s, kg;

$c_{п.п}$  – удельная теплоемкость перегретого пара, kJ/(kg.°C);

$t_{п.к}$  – температура пекарной камеры, °C;

$t_k$  – температура корочки, °C.

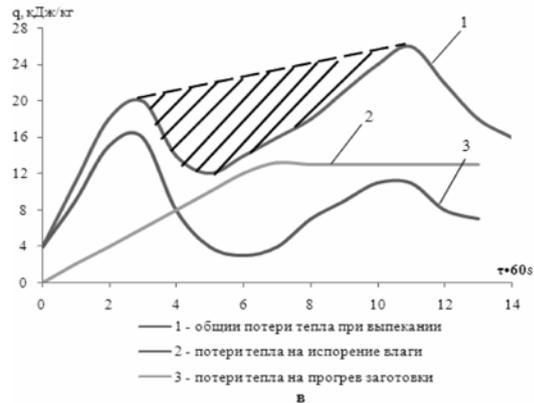
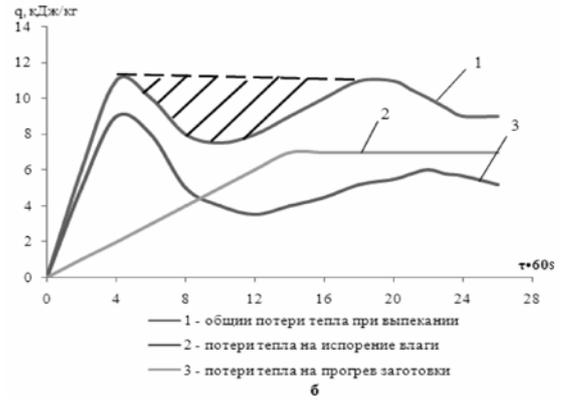
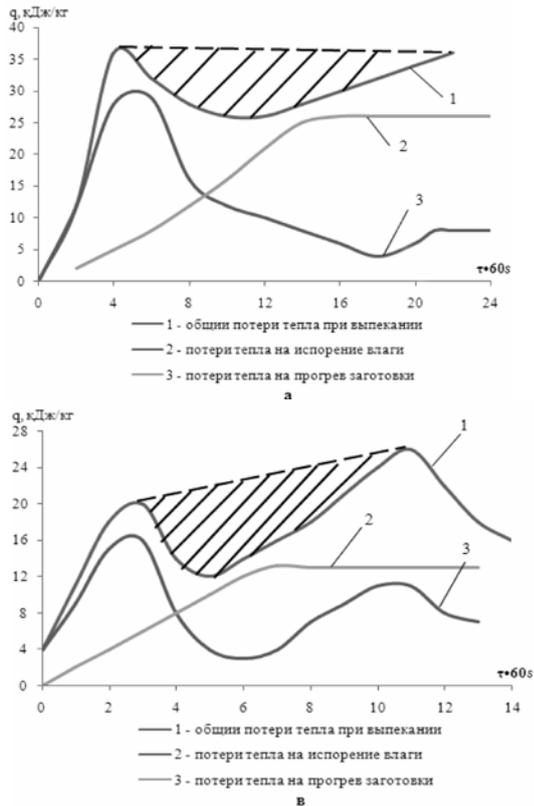


Рис. 2. Кинетика теплопоглощение при выпекании бисквитов (а), кексов (б), пряников (в).

Анализ полученных данных свидетельствует, что наибольшие расходы теплоты на прогрев происходит в первые минуты у бисквитов, кексов до 4 min., пряников до 2 min., затем наблюдается ее уменьшение. Это можно объяснить тем, что происходит расход теплоты на эндотермические процессы. Снижение расходов теплоты при выпечке бисквитов наблюдается до 1020 s (17хв.), при выпечке кексов до 720 s (12 min),

пряников до 360 s (6 min.). Что соответствует температуре прогрев центральных слоев  $\approx 70^{\circ}\text{C}$ . При температуре прогрева в пределах  $60\text{-}80^{\circ}\text{C}$  происходит основной расход теплоты на эндотермические процессы, связаны с денатурацией белков, клейстеризации крахмала, ростом заготовки. После прогрева центральных слоев до  $80^{\circ}\text{C}$  происходит увеличение объема заготовки, за счет разложения  $\text{NaHCO}_3$ , однако расходы на эти процессы незначительные, поэтому после  $\Theta = 0,4\text{-}0,6$  ( $\Theta$ -относительное время выпечки,  $\tau / \tau_{\text{вып.}}$ ) происходит увеличение расхода теплоты на прогрев. Анализ полученных данных показывает увеличение расхода теплоты на испарение влаги до с  $\Theta = 0,5$  при  $\Theta = 0,5\text{-}1,0$  расход теплоты находится практически на одном уровне. На рис. 2 заштрихованные площади показывают расхода теплоты на эндотермические процессы, происходящие при выпечке бисквитов, кексов, пряников.

В таблице 2 приведены расход теплоты при выпечке бисквитов, кексов, пряников.

Таблица 2

**Потери тепла при выпекании бисквитов, кексов, пряников**

Мучные кондитерские изделия	Потери тепла при выпекании (kJ/kg)			
	На прогрев	На испарение	На эндотермические процессы	Суммарные потери
Бисквиты	164,04	243,26	52,0	459,3
Пряники	146,5	155,7	56,0	308,2
Кексы	183,7	146,3	57,0	387,0

Бисквиты, кексы, маффины, пряники отличаются по своим рецептурным составом, технологическими параметрами, структурно-механическими характеристиками тестовых масс и готовых изделий, теплофизическими характеристиками, которые влияют на процессы выпекания, поэтому при выпечке исследуемых мучных кондитерских изделий существуют особенности.

Во-первых, процесс приготовления МКИ отличается конечным значением температуры прогрева центральных слоев (табл. 1). Конечная

температура прогрева центральных слоев в большинстве МКИ выше  $100^{\circ}\text{C}$ . Например, в затяжного печенья  $t_{\text{ц.}} = 102\text{-}103^{\circ}\text{C}$ , сахарного -  $t_{\text{ц.}} = 103\text{-}104^{\circ}\text{C}$ , сдобного  $t_{\text{ц.}} = 105\text{-}108^{\circ}\text{C}$ . Повышение температуры более  $100^{\circ}\text{C}$  объясняется температурной дисперсией, характерной для сахарных растворов. Поэтому конечная температура центральных слоев пряников равна  $103\text{-}104^{\circ}\text{C}$ , кексов  $102\text{-}103^{\circ}\text{C}$ , бисквитов  $97\text{-}98^{\circ}\text{C}$ , маффинов  $100\text{-}101^{\circ}\text{C}$ . Понижение температуры центральных слоев бисквита, маффинов, мы объясняем большим содержанием

газообразной фазы. Плотность теста маффинов составляет  $910-920 \text{ kg/m}^3$ , плотность теста кексов  $930-940 \text{ kg/m}^3$ , для бисквитов  $350-360 \text{ kg/m}^3$  [1,4,5]

Второе отличие процесса выпечки МКИ это состояние верхней поверхности. При выпечке кексов и пряников, особенно кексов, происходит разрыв верхней поверхности. При выпечке бисквитов,

маффинов не происходит разрыва верхней поверхности. Это явление мы объясняем прочностью корочки. Так, прочность корки маффинов, которую мы определяли на приборе Строганова равна 1,2-1,3Н, у кексов 2,3-2,4 Н.

На рис.3 (а) приведена фронтальная симметричная проекция поля роста заготовки кексов.

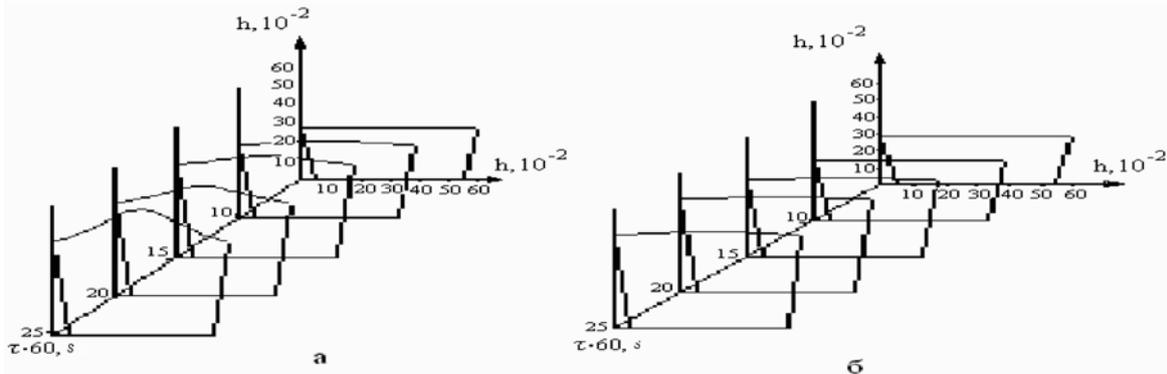


Рис. 3. Фронтальная симметричная проекция поля роста заготовок ( $h = f(\tau)$ ) в процессе выпекания кексов (а) та маффинов (б).

Сначала отмечена небольшая разница роста центральных и боковых поверхностей, а затем четко определено увеличение роста центра. Такое изменение высоты объясняется увеличением содержания газообразной фазы, состоящей из водяного пара, продуктов разложения химических разрыхлителей и поистине выхода при выпечке, что приводит к образованию трещины по центру заготовки. В тестовой массе, которая находится ближе к поверхности форм (кексы выпекали в металлических формах) корочка образовалась раньше и прочнее, чем по центру заготовки. На рис. 3.б приведена фронтальная симметричная проекция роста заготовки маффинов. При выпечке маффинов не наблюдается разрыва верхней поверхности и образованию трещин, что объясняется, присущей маффинам, пористой структуре корочки. Газовая фаза, которая образовалась при выпечке, легко проходит сквозь пористую корку маффинов, не образуя разрыва верхней поверхности изделия.

**Выводы:** Приведенные данные исследования указывают на организацию рациональных режимов выпекания МКИ. В начале процесса выпекания ( $\Theta$  до 0,25) нужно подачу теплоты уменьшить на 25-30% общей теплоты, и подачу теплоты организовать так, чтобы 2/3 тепла подавалось от нижней греющей поверхности пекарной камеры и только 1/3 от верхней. Такой режим обогрева будет способствовать задержке образования корочки на верхней поверхности тестовой заготовки и увеличение роста высоты изделия. В зоне обогрева  $\Theta = 0,25-0,75$  подача тепла должна быть максимальной и одинаковой на верхней и нижней греющих поверхностях. Выпечка МКИ в пределах  $\Theta = 0,25-0,75$  требует максимальных затрат теплоты на

прогрев заготовки и эндотермические процессы. При выпечке МКИ в пределах  $\Theta = 0,75 - 1,0$  расхода теплоты нужно уменьшить на 30%, потому что теплота главным образом расходуется на испарение влаги с верхней поверхности заготовки.

**Литература:** [1] Дорохович А.Н. Разработка научных основ различных мучных кондитерских изделий улучшенного качества: дис. доктора техн. Наук: 051801/А.Н.Дорохович. М.:1988, 433с

[2] Ребиндер П.А. Коллоиды в пищевой промышленности /П.А. Ребиндер/ М.: Пищепромиздат, 1950. 260 с.

[3] Дункан Менли Мучные кондитерские изделия /Дункан Менли/ перевод с англ.:Профессия, 2003. – 556 с.

[4] Дорохович В.В. Наукове обґрунтування і розробка технології борошняних кондитерських виробів спеціального, дієтичного споживання: дис. Доктора техн.наук: 05.18.16 - Дорохович В.В.-Київ, 2010, 363с.

[5] Лазоренко Н.П. Удосконалення технології маффінів спеціального призначення: дис. канд. техн.наук.-05.18.01 - Лазоренко Н.П., Київ, 2011, 15 стор.

[6] Дорохович В.В. Дослідження тепломасообмінних процесів, що відбуваються при випіканні кексів на лактитолі/В.В.Дорохович,Н.П.Лазоренко//Хлібопекарська і кондитерська України. – 2008, №9.-с. 21-29.

[7] Бондаренко Е.Г., Дорохович А.Н., Декуша Л.В. Кинетика теплопоглощения при выпечке бисквитного полуфабриката. – Известие вузов СССР. Пищевая технология, 1977, №3. – с.81-85.