

УДК 664.944

ББК 36.92

Г-96

Гусак Алексей Владимирович, аспирант кафедры технологии мясных, рыбных продуктов и консервирования холодом Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики; тел.: 8(950)0158703;

Краснова Алена Александровна, аспирант кафедры технологии мясных, рыбных продуктов и консервирования холодом Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики; тел.: 8(904)6020070;

Филиппов Валерий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии мясных, рыбных продуктов и консервирования холодом Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики; тел.: 8(911)9943230

**УСУШКА ПРИ ЗАМОРАЖИВАНИИ
МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ**
(рецензирована)

В настоящее время отсутствуют методы расчета усушки при охлаждении и замораживании пищевых полуфабрикатов, представляющих собой многослойные структуры. В данной статье предложены методы расчета усушки при холодильной обработке такого вида пищевой продукции. Экспериментальная проверка на примере тестовых полуфабрикатов с различной начинкой показала, что различие расчетных и опытных данных усушки при охлаждении и замораживании этих продуктов составляло 5...10 %. Предлагаемая методика расчета усушки позволяет с достаточной для инженерных расчетов точностью определять величину массовых потерь при холодильной обработке многослойных продуктов питания.

Ключевые слова: *расчет усушки при охлаждении, расчет усушки при замораживании, многослойные полуфабрикаты.*

Gusak Alexey Vladimirovich, a post-graduate student of the Department of Technology of Meat and Fish products and Cold Preservation of the St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics; tel.: 8 (950) 015 87 03;

Krasnova Alena Alexandrovna, a post-graduate student of the Department of Technology of Meat and Fish products and Cold Preservation of the St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics; tel.: 8 (904) 602 00 70;

Filippov Valery Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, an associate professor of the Department of Technology of Meat, Fish Products and Cold Cannery of the St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics; tel.: 8 (911) 994 32 30.

DRYING WITH FREEZING MULTILAYER SEMIFINISHED ITEMS

(reviewed)

At present there are no methods for calculating shrinkage during cooling and freezing of food semi-finished products, which are multilayer structures. In this article methods for calculating shrinkage during refrigeration of this type of food products are proposed. An experimental test using the example of test semi-finished products with different fillings showed that the difference between the calculated and experimental shrinkage data during cooling and freezing of these products was 5 ... 10%. The proposed method of calculation of shrinkage allows to determine the magnitude of mass losses during refrigeration treatment of multi-layer food products with sufficient accuracy for engineering calculations.

Keywords: *calculation of shrinkage during cooling, calculation of shrinkage during freezing, multilayer semi-finished products*

Современный потребительский рынок постоянно пополняется замороженными многослойными пищевыми продуктами. К числу таких продуктов относятся готовые тестовые изделия с различными начинками из растительного и животного сырья. Эти продукты представляют собой сочетания двух или большего количества слоев, которые отличаются по составу и теплофизическим характеристикам [1].

При замораживании пищевых продуктов, в том числе представляющих собой многослойные структуры, не желательным процессом, снижающим качество продукции, является испарение влаги с их поверхности (усушка). При холодильной обработке этот процесс происходит за счет разности влагосодержаний воздуха в области непосредственно примыкающей к продукту и воздуха в охлаждающей камере. При этом в воздух пограничного слоя постоянно поступает испаряющаяся с поверхности продукта влага.

Пищевые продукты поступают на замораживание с температурой значительно выше криоскопической. Поэтому процесс понижения температуры до достижения на поверхности продукта криоскопической температуры протекает в режиме охлаждения и затем с началом образования льда в нем вплоть до достижения конечной среднеобъемной температуры протекает в режиме собственно замораживания. Теплофизические особенности процессов охлаждения и замораживания определяют конечный вид расчетных соотношений величины усушки в каждом из них. Поэтому массоперенос при холодильной обработке следует рассматривать как последовательный и, в количественном отношении, совокупный процесс испарения влаги.

Данная работа посвящена изучению процессов массопереноса при замораживании многослойных продуктов питания и оценке достоверности расчетных соотношений усушки применительно к готовым многослойным продуктам. Для практического применения расчетных соотношений усушки необходимо знать зависимость температуры поверхности продукта от времени, а также продолжительность каждого из названных процессов. Для охлаждения соотношения получены на основе использования приближения регулярного теплового режима, для замораживания – на основе уравнения перемещения границы фаз на базе классической формулы продолжительности замораживания Планка [2].

Продолжительность охлаждения и замораживания продукта рассчитывается по известным формулам, описанным Куцаковой В.Е. и другими авторами [3].

Расчет усушки при охлаждении продукта проводился по методике, предложенной Куцаковой В.Е. Для этого выбирают шаг продолжительности охлаждения $d\tau$, принимают температуру поверхности тела в начале процесса охлаждения $t_{\text{пов}} = t_{\text{нач}}$. Определяют влажный коэффициент теплоотдачи, учитывающий отвод теплоты при испарении влаги с поверхности тела, влагосодержание воздуха у поверхности продукта для температуры поверхности тела в начальный момент времени и рассчитывают температуру поверхности и среднеобъемную температуру тела за выбранный промежуток времени. Затем возвращаются к вычислению влажного коэффициента теплоотдачи для полученной температуры поверхности тела и повторяют все пункты расчета до тех пор, пока температура поверхности тела не достигнет криоскопической. Полученные результаты расчета усушки за все этапы расчета суммируются [4].

Расчет усушки при замораживании продукта проводился по методике, разработанной на кафедре ТМРПиКХ. В соответствии с ней принято, что теплота кристаллизации при льдообразовании передается теплопроводностью через замороженный слой, распределение температуры в котором принимается квазистационарным. Температура его поверхности может быть выражена как функция толщины замороженного слоя. Усушку при замораживании рассчитывают по уравнениям 1, 2, 3.

$$X(t, \varphi) = \varphi \cdot \text{EXP} \left\{ 10,56 - \frac{3654}{t+230} \right\} \quad (1)$$

$$t_{\text{пов}} = t_{\text{хл}} + \frac{\lambda(t_{\text{кр}} - t_{\text{хл}})(R - \Delta)}{\lambda(R - \Delta) + \alpha R \Delta} \quad (2)$$

$$M = \frac{\alpha_{\text{сух}}}{C_{\text{возд}} \cdot \rho_{\text{возд}}} \cdot S_{\text{пов}} \int_0^R \left(X_{\text{пов}}(t_{\text{пов}}(\Delta)) - X_{\text{хл}}(t_{\text{хл}}) \right) \frac{d\tau}{d\Delta} d \quad (3)$$

где $\alpha_{\text{сух}}$ – сухой коэффициент теплоотдачи; $C_{\text{возд}}$ – теплоёмкость воздуха при $t_{\text{хл}}$; $\rho_{\text{возд}}$ – плотность воздуха при $t_{\text{хл}}$; $S_{\text{пов}}$ – площадь поверхности продукта, м^2 ; $X_{\text{пов}}$ и $X_{\text{хл}}$ – влагосодержание воздуха у поверхности продукта и воздуха при соответствующих температурах поверхности тела $t_{\text{пов}}$ и $t_{\text{хл}}$, $\text{кг}/\text{м}^3$; R – характерный размер тела, м ; Δ – толщина замороженного слоя, м .

Для оценки достоверности результатов расчета величины усушки при холодильной обработке многослойных продуктов питания по предлагаемой методике была проведена экспериментальной проверки. В качестве объектов исследования выбраны выпеченные тестовые изделия с начинкой из капусты (традиционное название – пирожки) и чебуреки с мясной начинкой, изготовленные в производственных условиях, в количестве по 6 образцов каждого продукта. Образцы указанных продуктов были изготовлены согласно ТУ [5]. Определялась масса, геометрические размеры, объем, плотность, влагосодержание, криоскопическая

температура для каждого слоя (тесто, начинка) исследованных образцов. Теплофизические характеристики взяты из справочной литературы [6].

Масса образцов пирожков с капустой составляла 70,0...72,6 г, длина 117...122 мм, ширина 58...63 мм, высота, 36...40, толщина верхнего слоя 7...10 мм. Масса образцов чебуреков с мясом равнялась 54,2...56,1 г, длина 198...203 мм, ширина 58...61 мм, высота, 19...22, толщина верхнего слоя 7...10 мм.

Образцы замораживали от начальной температуры +20°C до конечной температуры в центре продукта – 18°C [7]. Замораживание проводилось в одноступенчатом скороморозильном аппарате с направленным псевдооживленным слоем (СМАНПС) при температуре воздуха –29°C и скорости его движения 3 м/с. Температуры воздуха в аппарате, в точке близкой к поверхности замораживаемого продукта и в центральной его части определяли электронным измерителем температуры ТЕ-113, скорость движения воздуха в скороморозильном аппарате – электронным анемометром ЭА-70.

Суммарное время замораживания, состоящее из времени охлаждения, замораживания и доохлаждения, было 59,6...61,0 мин. – для пирожков с капустой, 38,9...41,1 мин. – для чебуреков с мясом. Максимальное расхождение при расчете времени охлаждения на основе использования приближения регулярного теплового режима составляет +1,2/–4,4 %, при расчете доохлаждения +5,2/–8,3 %. При расчете времени замораживания на основе уравнения фронта движения замораживания на базе классической формулы продолжительности замораживания Планка максимальное расхождение составляет +7,7 %.

После замораживания образцы упаковывали в герметичную упаковку, помещали в термостат и выдерживали в нем для выравнивания температуры по всему объему продукта. Изменение температуры в процессе выдержки и установившуюся в результате этого постоянную величину среднеобъемной температуры фиксировали электронным термометром.

Затем образцы выдерживались некоторое время при положительной температуре, чтобы исключить конденсацию влаги на её внешней поверхности, после чего с помощью весов ВК-3000 по разности масс образцов до и после замораживания определяли опытные значения величины усушки, которую сравнивали с расчетной.

В таблицах 1, 2 приведены расчетные и опытные значения суммарной усушки, при охлаждении, замораживании, доохлаждении для каждого образца.

Установлено, что максимальное расхождение составляет +8,9/–4,7 % для пирожков с капустой, +8,1/–1,3 % для чебуреков с мясом. Полученные опытные величины усушки при замораживании и продолжительности замораживания двухслойного пищевого продукта хорошо коррелируют с расчетными данными.

Также в таблице 3 представлены расчетные значения усушки для каждого образца пирожков с капустой для разных этапов холодильной обработки: охлаждение, замораживание, доохлаждение. Показано, что практически вся усушка происходит в стадии охлаждения продукта. Усушкой во время замораживания и доохлаждения можно пренебречь. Погрешность составила менее 10%.

Таблица 1 – Суммарная усушка пирожков с капустой

№ образца	Масса		Усушка расчетная		Усушка экспериментальная		Отклонение, %
	до замораживания, кг · 10 ³	после замораживания, кг · 10 ³	абсолютная, кг · 10 ³	относительная, %	абсолютная, кг · 10 ³	относительная, %	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	72,56	71,50	1,11	1,6	1,06	1,5	4,7
2	69,70	68,64	1,01	1,5	1,06	1,5	-4,7
3	72,16	71,20	0,99	1,4	0,96	1,3	3,1
4	71,24	70,20	1,12	1,6	1,04	1,5	7,7
5	70,61	69,60	1,10	1,6	1,01	1,5	8,9
6	70,03	69,04	1,05	1,5	0,99	1,4	6,1

Таблица 2 – Суммарная усушка чебуреков с мясом

№ образца	Масса		Усушка расчетная		Усушка экспериментальная		Отклонение, %
	до замораживания, кг · 10 ³	после замораживания, кг · 10 ³	абсолютная, кг · 10 ³	относительная, %	абсолютная, кг · 10 ³	относительная, %	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	56,05	55,32	0,75	1,4	0,73	1,3	2,7
2	53,96	53,18	0,84	1,6	0,78	1,5	7,7
3	55,34	54,60	0,80	1,5	0,74	1,4	8,1
4	54,58	53,74	0,86	1,6	0,84	1,6	2,4
5	54,20	53,42	0,77	1,4	0,78	1,5	-1,3
6	55,82	55,05	0,80	1,5	0,77	1,4	3,9

Таблица 3 – Усушка пирожков с капустой на различных этапах замораживания

№ образца	Усушка					
	при охлаждении		при замораживании		при доохлаждении	
	кг · 10 ³	%	кг · 10 ³	%	кг · 10 ³	%
1	2	3	4	5	6	7
1	1,11	1,6	2,0 · 10 ⁻³	0,0	1,1 · 10 ⁻³	0,0
2	1,01	1,5	1,5 · 10 ⁻³	0,0	1,0 · 10 ⁻³	0,0
3	0,99	1,4	1,8 · 10 ⁻³	0,0	1,2 · 10 ⁻³	0,0
4	1,12	1,6	2,1 · 10 ⁻³	0,0	1,1 · 10 ⁻³	0,0
5	1,10	1,6	1,6 · 10 ⁻³	0,0	1,1 · 10 ⁻³	0,0
6	1,05	1,5	1,7 · 10 ⁻³	0,0	1,0 · 10 ⁻³	0,0

Таким образом, исследование усушки тестовых полуфабрикатов, замороженных после кулинарной обработки, показало, что предложенная методика дает достаточно точные значения по расчету усушки при охлаждении и замораживании. Наибольшая сходимость данных достигается при расчете стадии охлаждения. Расхождение с

эмпирическим значением составило менее 10%, причем для стадии охлаждения расхождение составило менее 5%. Предложенная методика по расчету усушки дает очень близкие значения усушки при охлаждении и замораживании продукта.

Литература:

1. Производство мясных полуфабрикатов / И.А. Рогов [и др.]. Москва: Колос-пресс, 2001. 335 с.
2. Куцакова В.Е., Уткин Ю.В. Расчет времени замораживания бесконечного цилиндра и шара с учетом одновременного охлаждения замороженной части // Холодильная технология. 1996. №2. С. 21.
3. Холодильная технология пищевых продуктов: учебник для вузов: в 3 книгах. Часть 1. Теплофизические основы / В.Е. Куцакова [и др.]. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2007. 224 с.
4. Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов. Теплофизические основы: учебное пособие / А.В. Бараненко [и др.]. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2012. 272 с.
5. ТУ 9119-017-10926000-03. Пироги, пирожки, пончики и полуфабрикаты для них, охлажденные и замороженные. Технические условия.
6. Гинзбург А.С., Громов М.А., Краковская Г.И. ТФХ пищевых продуктов: справочник. Москва: Пищ. пром-сть, 1980. 288 с.
7. Забашта А.Г. Производство замороженных полуфабрикатов в тесте: справочник. Москва: КолосС, 2006. 551 с.

Literature:

1. *Semi-finished meat products production/ I.A. Rogov [and others]. Moscow: Kolospress, 2001. 335 p.*
2. *Kutsakova V.E., Utkin Yu.V. Calculation of freezing time of an infinite cylinder and a ball, taking into account the simultaneous cooling of the frozen part // Refrigeration technology. 1996. № 2. P. 21.*
3. *Refrigeration technology of food: a textbook for universities: in 3 books. Part 1. Thermophysical fundamentals / V.E. Kutsakova [and others]. St. Petersburg: GIORD, 2007. 224 p.*
4. *Examples and tasks on refrigeration technology of food products. Thermophysical fundamentals: tutorial / A.V. Baranenko [and others]. St. Petersburg: GIORD, 2012. 272 p.*
5. *TC 9119-017-10926000-03. Pies, patties, donuts and semi-finished products for them, chilled and frozen. Technical conditions.*
6. *Ginzburg A.S., Gromov M.A., Krakovskaya G.I. TPC of food products: a reference book. Moscow: Food industry, 1980. 288 p.*
7. *Zabashta A.G. Production of frozen semi-finished products in dough: reference book. Moscow: KolosS, 2006. 551 p.*