УДК [664.047.3:577.114:678.5.02]: 658.562

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ И АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА ФОРМОВАНИЯ ШТРАНГА ИЗ РЫБНОЙ ФАРШЕВОЙ СМЕСИ

Kinetics Study and Consistent Pattern Analysis
of the Rod Production Process from the Fish Mince

Нугманов А.Х.-Х., Алексанян А.И.
Nugmanov A.H.-H., Aleksanyan A.I.

Ключевые слова:

*рыбная фаршевая
смесь;
кинетика;
формование;
математическая
аппроксимация;
массовая и штучная
производительность*

Keywords:

*fish minced mixture;
process kinetics;
molding;
mathematical
approximation;
mass and piece
performance*

Реферат

В статье рассмотрены отдельные аспекты изучения кинетики и анализа процесса формования штранга из рыбной фаршевой смеси в технологии получения замороженных полуфабрикатов. Актуальность темы обусловлена всё более широким использованием в промышленных условиях способа формования рыборастворительной продукции, позволяющего оптимальнее реализовывать рыбное сырьё по сравнению с рыбой в неразделанном охлажденном или замороженном виде. Результаты исследования совместных процессов формования и замораживания штранга позволяют применять разработанные оригинальные интенсивные способы предварительной подготовки сырья (измельчение, перемешивание, формование) и связанный с ними способ замораживания не только для переработки сырья, но и для производства полуфабрикатов, кулинарных изделий и консервированных блюд, с соблюдением условий экологической безопасности и снижением стоимости обработки пищевых продуктов холодом. Результаты исследований необходимы для научного анализа кинетики и динамики тепломассообменных процессов, их моделирования и оптимизации с целью энергосбережения при переработке и хранении пищевых материалов.

Abstract

The article concerns separate aspects of the kinetics and analysis study of the molding process of rod from fish minced mixture in the technology of frozen semi-finished products. The wider use of molding process of fish products in industrial conditions cause the issue relevancy. It lets to realize optimal fish raw materials more rational in comparison to sale round cooled or frozen fish. The study results of simultaneous processes of rod molding and freezing allow to implement developed original intensive methods of raw materials preparation (beating, mixing, molding), and related to it freezing method not only for raw materials processing, but also for the production of semi-finished products, culinary products and canned food in compliance with environmental safety conditions and cost reduction of cold food processing. The research results are necessary for the scientific analysis of kinetics and dynamics of heat and mass transfer processes, its modeling and optimization for energy saving in the processing and storage of food materials.

Введение

На современном этапе производство формованной рыбакарстительной продукции широкого ассортимента в промышленных условиях позволяет оптимальнее реализовывать рыбное сырье по сравнению с рыбой в неразделанном охлажденном или замороженном виде. Как экономически целесообразное, такое производство в определенной степени решает задачу продовольственного обеспечения населения.

Дефицит белка животного происхождения, наряду с избыточным потреблением населением животных жиров, диктует необходимость разработки рецептуры замороженных рыбакарстительных полуфабрикатов функционального назначения с максимальным вовлечением в технологический процесс различных видов рыбного и растительного сырья [1; 2; 3; 5; 6; 8; 10; 12]. Это позволит причислить продукцию из рыбного фарша к индустриальным пищевым продуктам нового поколения, которые обладают такими основными свойствами, как пищевая ценность, вкусовые качества и физиологическое воздействие.

Актуальность

Для решения задач, поставленных Правительством РФ перед предприятиями пищевой промышленности по обеспечению населения качественными продуктами, в частности, признаны актуальными разработка и реализация оригинальных интенсивных способов предварительной подготовки сырья (измельчение, перемешивание, формование) и замораживания, которые возможно использовать не только для переработки сырья, но и для производства полуфабрикатов, кулинарных изделий и консервированных блюд при соблюдении условий экологической безопасности и снижении стоимости обработки пищевых продуктов холодом.

Чтобы свести до минимума недостатки в конечном полуфабрикате, процессы охлаждения до криоскопической температуры и формования штранга осуществлялись одновременно в замкнутом объеме трубок кожухотрубного теплообменника, что практически исключает вздутие и деформацию штрангов, механически ограниченных в размерах.

Цель исследования – разработка рациональных кинетических режимных параметров ведения процесса формования рыбных фаршевых штрангов.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) провести анализ существующих способов и конструкций, предназначенных для производства гранулированных замороженных фаршевых продуктов;

2) определить факторы и методы, влияющие на эффективность процесса формования;

3) установить экспериментально зависимость массового расхода и штучной производительности от диаметра фильеры;

4) выработать практические рекомендации по использованию полученных результатов.

Научная новизна исследования заключается в выявлении закономерностей процесса формования и их математическом описании в рамках предлагаемой технологии замороженных рыбных фаршевых гранул.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов для исследования были выбраны фарши из судака и сазана. Для приготовления фаршей использовалась свежая рыба, которую разделывали на филе согласно ГОСТ Р 55505-2013 «Фарш рыбный пищевой мороженный. Технические условия» и технологическим инструкциям [11]. Филе измельчали на волчке с диаметром отверстий в решетке 3,5÷4 мм; в полученный фарш согласно плану экспериментальных исследований вносили порошок капусты белокочанной, полученный способом конвективной сушки.

Исследование кинетики формования и определение рациональной продолжительности этого процесса проводились с помощью оригинальной экспериментальной установки, которая позволяет создавать варьируемую разность давлений, равную напору, необходимому для осуществления формования в промышленных условиях (рис. 1).

Рис. 1. Схема экспериментальной установки для определения рациональных параметров процесса формования:

- 1 – формируемый штранг;
2 – емкость для сбора фарша; 3 – весы;
4 – шиберная заслонка; 5 – рабочая емкость;
6 – секундомер; 7 – фаршевая смесь;
8 – крепежное соединение; 9 – термомпара;
10 – компрессор

Изучение процесса формования в фильере экспериментальной установки осуществлялось при следующих параметрах: температура продукта 0 ± 3 °C; давление перед фильерой – 2 кгс/см²; давление на выходе из фильеры – атмосферное.

Максимально возможную массу гранулированного штранга, зависящую от его структурно-механических и реологических характеристик, рассматривали опытным путем (см. рис. 1) посредством определения длины гранулы при свободном вертикальном расположении штранга и его разрыве под действием гравитации в зависимости от влияющих факторов диаметров фильеры и штранга на выходе из нее, а также степени измельчения фаршевой смеси.

Результаты исследования и их обсуждение

Эффективность формования пластических масс и тонкодисперсных частиц материалов зависит от вязкости и плотности продукта, геометрических размеров формовочных узлов и материалов, из которых они изготовлены, желательна с наименьшей адгезией к исследуемым фаршам. Следует особо отметить влияние взаимосвязи массовой доли влаги, влажности, когезии фаршевых смесей на кинетику формования и максимальное сохранение целостности штранга при выходе из фильеры.

Изучение кинетики и анализ закономерности процесса формования штранга играют важную роль для интенсификации тепломассообменных процессов вакуумной заморозки и повышения потребительских свойств конечного изделия при производстве многокомпонентных фаршевых полуфабрикатов. Моделирование кинетики формования штранга позволяет прогнозировать и находить продолжительность процесса формования, при котором будет максимально сохранена целостность получаемого штранга.

Как известно [4; 7; 9; 13], придание пищевой смеси заданной формы и нужных размеров называется формованием¹. С учетом специфики технологии [4; 7] и направления нашего исследования необходимо дать более подробное определение процесса формования рыбных фаршевых штрангов для последующей вакуумной заморозки, которое заключается в переходе неньютоновской жидкости в твердое изделие заданной конфигурации в результате внешних и внутренних физико-механических воздействий. Отсюда можно выделить две стадии процесса формования: первая связана с формообразованием, вторая – с фиксацией формы.

Формообразование рыборастворительного штранга происходит в интервале 500÷1200 Па·с. Скорость и продолжительность процесса во многом

обусловлены разностью давлений в смесителе и вакуумной морозильной камере, а также степенью измельчения фарша, определяемой посредством энтропийной составляющей в уравнении Гиббса–Гельмгольца $-ΔS$. Стадия фиксации формы штранга отвечает температурной области затвердевания свободной влаги, являющейся составной частью рыбного полуфабриката. Скорость и продолжительность фиксации формы штранга определяются теплофизическими свойствами рыбных фаршей и условиями заморозки.

Продолжительность формования будет зависеть от продолжительности самой длинной стадии. Для того, чтобы процесс формования протекал быстро, требуется меньшая скорость затвердевания на стадии формообразования, чем на этапе фиксации формы, а это достигается при увеличении скорости охлаждения. Необходимо учитывать, что при этом высота готового штранга напрямую связана с временем фиксации. Таким образом, к факторам, влияющим на скорость затвердевания штранга при формовании, относятся:

- вязкость фаршевой смеси;
- скорость охлаждения штранга;
- степень равномерности охлаждения и затвердевания в массе;
- погонная масса изделия.

Погонная масса изделия ($M_{\text{пор}}$, кг/м) не является традиционным параметром, используемым при расчетах процессов формования. Этот показатель вводится с учетом способа организации процесса как комплексная величина, косвенно учитывающая все вышеуказанные параметры, в нашем случае фактически являющаяся целевой функцией.

Результаты исследований по определению максимально возможной массы гранулированного штранга в зависимости от влияющих факторов представлены в табл. 1.

Согласно результатам проведенных авторами исследований значения плотности фаршевых смесей различного происхождения (к примеру, из судака и сазана) с 20 %-ной добавкой капустного порошка практически не отличаются, что позволяет использовать для инженерных расчетов среднюю плотность фаршевых смесей из частика. Кроме того, из-за пониженных структурообразующих свойств грубоизмельченного рыбного фарша целесообразно использовать в разрабатываемой технологии в качестве исходного материала фаршевые смеси с условной степенью измельчения 40÷50 м/м, т.е. тонкоизмельченные.

Результаты проведенных исследований по определению массового расхода и производительности гранул в процессе формования объекта

¹Формование, порционирование, набивание, клипсование. URL: <http://www.schalleraustria.com/catalog>.

Таблица 1

Результаты исследований по определению длины гранул при свободном вертикальном расположении штранга и его разрыве под действием гравитации

Вид фаршевой смеси	Степень измельчения	Плотность фаршевой смеси, кг/м ³	Диаметр фильеры, м	Длина гранулы, м	Объем гранулы, м ³	Масса гранулы, кг
Фаршевая смесь из судака	Грубое	≈ 1080	0,003	Гранула не формируется	-	-
			0,005	≈ 0,01	1,96·10 ⁻⁷	0,2·10 ⁻³
			0,008	≈ 0,015	7,54·10 ⁻⁷	0,8·10 ⁻³
Фаршевая смесь из судака	Тонкое	≈ 1080	0,003	≈ 0,01	0,71·10 ⁻⁷	0,08·10 ⁻³
			0,005	≈ 0,02	3,93·10 ⁻⁷	0,4·10 ⁻³
			0,008	≈ 0,03	15,08·10 ⁻⁷	1,6·10 ⁻³
Фаршевая смесь из сазана	Грубое	≈ 1090	0,003	Гранула не формируется	-	-
			0,005	≈ 0,01	1,96·10 ⁻⁷	0,2·10 ⁻³
			0,008	≈ 0,015	7,54·10 ⁻⁷	0,8·10 ⁻³
Фаршевая смесь из сазана	Тонкое	≈ 1090	0,003	≈ 0,01	0,71·10 ⁻⁷	0,08·10 ⁻³
			0,005	≈ 0,02	3,93·10 ⁻⁷	0,4·10 ⁻³
			0,008	≈ 0,03	15,08·10 ⁻⁷	1,6·10 ⁻³

обработки при обеспечении заданной погонной массы представлены в табл. 2.

Для анализа кинетических зависимостей процесса формования были построены и математически аппроксимированы эмпирические кривые скорости изменения массового расхода (рис. 2) и штучной производительности гранул (рис. 3) в зависимости от диаметра фильеры.

Ниже представлены полученные аппроксимированные математические зависимости для кривых скорости (рис. 2, 3):

$$M(d_{\phi}) = 6566 \times d_{\phi}^2 - 43,03 \times d_{\phi} + 0,086; \quad (1)$$

$$K_{\text{гр}}(d_{\phi}) = 1,16 \times d_{\phi}^2 \times 10^7 - 1,48 \times d_{\phi} \times 10^5 + 540. \quad (2)$$

Анализируя зависимость массового расхода гранул от диаметра фильеры (рис. 2), авторы пришли к следующему очевидному выводу: малая длина фильеры обуславливает рост ее сопротивления фаршу; расход растет с увеличением диаметра фильеры. В случае технологической необходимости увеличения массы гранулы целесообразно увеличить диаметр

фильеры, но при этом должна быть увеличена продолжительность замораживания вследствие большей поверхности теплообмена и уменьшения длины гранулы. Взаимное влияние этих факторов можно пояснить графиком зависимости штучной производительности гранул от диаметра фильеры (рис. 3), которая имеет экстремальный характер с минимумом при $d_{\phi} = 6 \div 7$ мм.

До характерной точки (рис. 3) происходит снижение штучной производительности, связанное с превалированием когезионных сил сцепления между частицами фарша из-за большей площади поперечного сечения штранга над влиянием сил тяжести. После точки экстремума превалирование влияния на штучную производительность смещается в сторону сил тяжести.

Таким образом, варьируя диаметр фильеры и его структурно-механические характеристики (например, степень измельчения), можно обеспечить необходимые штучную производительность и размер гранул с учетом требуемых потребительских свойств продукта.

Таблица 2

Результаты исследований по определению скорости формования фаршей

Вид фаршевой смеси	Степень измельчения, м/м	Диаметр фильеры d_{ϕ} , м	Массовый расход M , кг/с	Производительность гранул $K_{\text{гр}}$, шт./с
Рыбная фаршевая смесь	40÷50	0,003	0,016	≈ 200
		0,005	0,035	≈ 90
		0,008	0,162	≈ 100

Рис. 2. Кривая скорости изменения массового расхода гранул в зависимости от диаметра фильеры

Рис. 3. Кривая скорости изменения штучной производительности гранул в зависимости от диаметра фильеры

Выводы

Для рационального формирования штранга в фильерах с учетом закономерностей охлаждения рекомендуется подвергать формированию только тонкоизмельченные фарши через фильерное отверстие диаметром $d_\phi = 3 \div 5$ мм при поддержании разности давлений перед формочным узлом и в морозильной камере около 1 атм.

Заключение

Результаты проведенных исследований совместного формирования и замораживания штранга позволяют на практике реализовать оригинальные способы измельчения, перемешивания, формирования и связанное с ними замораживание не только для переработки сырья, но и для производства полуфабрикатов, кулинарных изделий. При этом соблюдаются условия экологической безопасности, и снижается стоимость обработки пищевых продуктов холодом.

Библиографический список

1. Бойцова Т.М. Современные технологии пищевого рыбного фарша и пути повышения их эффективности. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 2002. 155 с.
2. Бойцова Т.М. Технология пищевых рыбных фаршей. Владивосток: Дальрыбвтуз, 1997. 70 с.
3. Бредихина О.В., Новикова М.В., Бредихин С.А. Научные основы производства рыбных фаршей. М.: КолосС, 2009. 152 с.
4. Ивченкова Е.Н., Альшевский Д.Л. Математическое моделирование процесса формирования полуфабрикатов из фарша кальмара // Вестник Российской академии естественных наук: сб. науч. тр. Калининград: Изд-во КГТУ, 2014. Вып. VIII. С. 24–29.
5. Колаковский Э. Технология рыбного фарша / пер. с польск. В.Е. Тишина; под ред. Л.И. Борисочкиной. М.: Агропромиздат, 1991. 220 с.
6. Коцыло И.В. Разработка технологии рыбных фаршей полуфабрикатов на основе сырья пониженной товарной ценности: автореф. ... канд. техн. наук. Калининград, 2011. 24 с.
7. Лисовой В.В., Иванова Е.Е. Состояние и перспективы производства комбинированных и фаршевых продуктов на основе рыбного сырья // Известия вузов. Пищевая технология. 2008. № 2/3. С. 13–15.

Bibliography

1. Bojцова T.M. Sovremennye tehnologii pishhevo go rybnogo farsha i puti povysheniya ih jeffektivnosti. Vladivostok: Izd-vo DVGU, 2002. 155 s.
2. Bojцова T.M. Tehnologija pishhevyh rybnih farshej. Vladivostok: Dal'rybvtuz, 1997. 70 s.
3. Bredihina O.V., Novikova M.V., Bredihin S.A. Nauchnye osnovy proizvodstva ryboproductov. M.: KolosS, 2009. 152 s.
4. Ivchenkova E.N., Al'shevskij D.L. Matematicheskoe modelirovanie processa formovaniya polufabrikatov iz farsha kal'mara // Vestnik Rossijskoj akademii estestvennyh nauk: sb. nauch. tr. Kaliningrad: Izd-vo KGTU, 2014. Vyp. VIII. S. 24–29.
5. Kolakovskij Je. Tehnologija rybnogo farsha / per. s pol'sk. V.E. Tishina; pod red. L.I. Borisochkinoy. M.: Agropromizdat, 1991. 220 s.
6. Kocylo I.V. Razrabotka tehnologii rybnih formovannyh polufabrikatov na osnove syr'ja ponizhennoj tovarnoj cennosti: avtoref. ... kand. tehn. nauk. Kaliningrad, 2011. 24 s.
7. Lisovoy V.V., Ivanova E.E. Sostojanie i perspektivy proizvodstva kombinirovannyh i formovannyh produktov na osnove rybnogo syr'ja // Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija. 2008. № 2/3. S. 13–15.

8. Родина Т.В., Борк Д.А., Новикова М.В. Технология функциональных продуктов на основе рыбного фарша и мяса беспозвоночных // Рыбпром. 2008. № 1. С. 22–23.
9. Романова А. И., Ивченкова Е. Н., Альшевский Д. Л. Формованные полуфабрикаты из фарша кальмара // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2012. № 2. С. 171–177.
10. Сафронова Т.М., Дacun В.М. Сырье и материалы рыбной промышленности. М.: Мир, 2004. 272 с.
11. Сборник технологических инструкций по производству рыбных консервов и пресервов: в 2 ч. Л., 1989. Ч. 1. 150 с.; Ч. 2. 285 с.
12. Тихомирова Е.К., Бредихина О.В., Абрамова Л.С. Современное производство кулинарных изделий из рыбного сырья // Рыбпром. 2010. № 1. С. 54–57.
13. Фатыхов Ю.А. Применение методов экструзии для получения пищевых продуктов. Калининград: Изд-во КГТУ, 1999. 53 с.
8. Rodina T.V., Bork D.A., Novikova M.V. Tehnologija funkcional'nyh produktov na osnove rybnogo farsha i mjasa bespozvonochnyh // Rybprom. 2008. № 1. S. 22–23.
9. Romanova A. I., Ivchenkova E. N., Al'shevskij D. L. Formovannye polufabrikaty iz farsha kal'mara // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2012. № 2. S. 171–177.
10. Safronova T.M., Dacun V.M. Syr'e i materialy rybnoj promyshlennosti. M.: Mir, 2004. 272 s.
11. Sbornik tehnologicheskikh instrukcij po proizvodstvu rybnyh konservov i preservov: v 2 ch. L., 1989. Ch. 1. 150 s.; Ch. 2. 285 s.
12. Tihomirova E.K., Bredihina O.V., Abramova L.S. Sovremennoe proizvodstvo kulinar'nyh izdelij iz rybnogo syr'ja // Rybprom. 2010. № 1. S. 54–57.
13. Fatyhov Ju.A. Primenenie metodov jekstruzii dlja poluchenija pishhevyyh produktov. Kaliningrad: Izd-vo KGTU, 1999. 53 s.

**Нугманов
Альберт
Хамед-Харисович**
Nugmanov
Albert Hamed-Harisovich
Тел./Phone: (8512) 61-41-91
E-mail: albert909@yandex.ru

*Доктор технических наук, доцент, доцент кафедры технологических машин и оборудования
Астраханский государственный технический университет
414056, РФ, г. Астрахань, ул. Татищева, 16*
*Doctor of Technical Science, Associate Professor, Associate Professor
of the Technological Machinery and Equipment Department
Astrakhan State Technical University
414056, Russia, Astrakhan, Tatishcheva St., 16*

**Алексанян
Артем Игоревич**
Aleksanyan
Artem Igorevich
Тел./Phone: (8512) 61-41-91
E-mail: albert909@yandex.ru

*Аспирант кафедры технологических машин и оборудования,
сотрудник компании ООО «Газпром добыча Астрахань»
Астраханский государственный технический университет
414056, РФ, г. Астрахань, ул. Татищева, 16*
*Postgraduate of the Technological Machinery and Equipment Department
Officer of the LLC "Gazprom Dobycha Astrakhan"
Astrakhan State Technical University
414056, Russia, Astrakhan, Tatishcheva St., 16*