

DOI: 10.24143/2073-5529-2018-2-135-148
УДК [664.951.65.08:633/635]:664.956

А. Х.-Х. Нугманов, Ю. А. Максименко, А. И. Алексанян, О. А. Алексанян

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РЫБНЫХ ФАРШЕЙ, СУХИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПРЕМИКСОВ И ИХ СМЕСЕЙ

В целях рациональной переработки рыбного сырья в широком ассортименте (в охлажденном или замороженном виде) изучен комплекс свойств формованной комбинированной рыборастительной продукции. В качестве исследуемых образцов выбраны фарши из судака и сазана, в которые вносили в качестве добавки сухой порошок капусты белокочанной. Для определения соотношения свободной и связанной влаги в фаршевых продуктах получены результаты термодинамического анализа гигроскопических свойств объектов исследования. Из полученных данных следует, что введение порошковой добавки приводит к уменьшению свободной влаги в смеси за счет ее частичного связывания премиксом. При определении рационального содержания добавки в смеси отмечается, что верхний предел ограничен сенсорной оценкой, т. к. при превышении данного предела характеристики полученного полуфабриката могут кардинально отличаться от модельного образца. Приведены результаты исследования теплофизических свойств объектов замораживания при обычных температурах и ниже нуля, структурно-механических свойств (плотности, условного коэффициента эффективной динамической вязкости, количества вымерзшей влаги), а также криоскопических температур объектов криоконсервирования. Установленные математические зависимости характеристик продуктов и концентратов могут быть использованы в инженерной практике при проектировании производственных процессов и аппаратов в технологиях переработки сырья животного и растительного происхождения. Полученные результаты исследований имеют практическую ценность для научного анализа кинетики и динамики тепломассообменных процессов (охлаждения и замораживания), их моделирования и оптимизации с целью энерго- и ресурсосбережения при переработке пищевых материалов.

Ключевые слова: рыбные фарши, теплофизические характеристики, структурно-механические свойства, консервирование холодом, гигроскопические свойства.

Введение

Насыщение продовольственного рынка конкурентоспособной продукцией из отечественного сырья входит в число приоритетных векторов реализации государственной политики в области продовольственной безопасности и здорового питания. Анализ современного состояния и перспектив развития индустрии переработки рыбы показал рост в общем объеме добычи рыбы с низкой товарной ценностью [1–3], которая малопригодна для выработки пищевой продукции высокого качества по известным технологиям. Это приводит к росту экономической нагрузки предприятий рыбопереработки и снижению объемов производства качественной продукции.

Производство формованной комбинированной рыборастительной продукции позволит рационально реализовывать рыбное сырье в широком ассортименте, в частности, в охлажденном или замороженном виде. С учетом дефицита животного белка наряду с избыточным потреблением животных жиров активно разрабатываются рецептуры замороженных рыборастительных полуфабрикатов функционального назначения.

Разработка новой технологии невозможна без определения комплекса свойств и характеристик объектов консервирования холодом, которые необходимы для изучения статики, динамики, кинетики процессов переноса тепловой энергии и вещества и выявления механизма их протекания с целью разработки и практической реализации рациональных режимных параметров.

Постановка задачи

Задача исследования низкотемпературного воздействия на объекты биологического происхождения с учетом комплекса физико-химических показателей актуальна и всегда находилась в поле зрения видных ученых и специалистов холодильной и пищевой индустрии. обоснованном стремлении к росту интенсивности замораживания пищевых материалов необходимо гарантировать сохранность их качества и потребительских свойств, в частности биологической ценности и органолептических показателей.

При исследовании процессов замораживания и разработке холодильных технологий и их аппаратурного оформления основное внимание уделяется выбору и анализу параметров, оказы-

вающих влияние на продолжительность заморозки для определения рациональных интенсивных режимов замораживания. Таким образом, изучение и анализ совместных физико-химических и энергетических эффектов при морозильном консервировании позволяют производить продукты с заданными свойствами при снижении затрат энергии.

Методы исследования, результаты и их обсуждение

Определение гигроскопических свойств и термодинамический анализ объектов криоконсервирования. Для изучения гигроскопических характеристик объектов исследования применялся тензометрический метод Ван-Бамелена [4–6], который позволяет организовать работу в лабораторных условиях без использования специализированного дорогостоящего оборудования.

Для исследования процессов статического взаимодействия продуктов с парами воды использовались изотермы сорбции. Гигроскопическое влагосодержание продукта определяет его способность удерживать влагу и играет большую роль при выборе режимных параметров сушки и заморозки. На основе математической обработки и системного анализа кривых равновесия $A_w = f(W_p)$, где A_w – активность воды, кг/кг, определяют вид и энергию связи влаги с материалом, а также ряд термодинамических параметров на различных стадиях поглощения, удаления или вымораживания влаги.

В качестве исследуемых образцов были выбраны фарши из судака и сазана, для приготовления которых использовалась свежая рыба, которую разделявали на филе, измельчали на волчке для получения фарша, в который вносили порошок капусты белокочанной конвективной сушки.

Рыбные фарши без внесения порошка капусты белокочанной, фарши с внесением 10, 20 и 30 % сухого вещества и непосредственно порошкообразный капустный ингредиент с влажностью $W_{\text{образца}} = 0,05$ кг/кг выдерживались в эксикаторе над водным раствором серной кислоты, для каждой концентрации растворов которой соответствовало значение относительной влажности воздуха ϕ % (при заданной температуре T , °C, внутри эксикатора).

Равновесная влажность W_p образца определялась по формуле

$$W_p = \frac{G_2 - G_1(1 - W_{\text{образца}})}{G_2},$$

где G_1 – начальная масса исследуемого образца, кг; G_2 – масса образца при достижении гигротермического равновесия, кг; $W_{\text{образца}}$ – начальная влажность образца, кг/кг.

Относительная ошибка при определении гигроскопической влажности образцов, полученная на основе обработки данных при 5 повторностях, не превышала $\varepsilon_{w_p} = 5,85$ %. На основе результатов экспериментов построены изотермы сорбции влаги фаршем из судака, сазана и в комбинации с капустным порошком (рис. 1, 2).

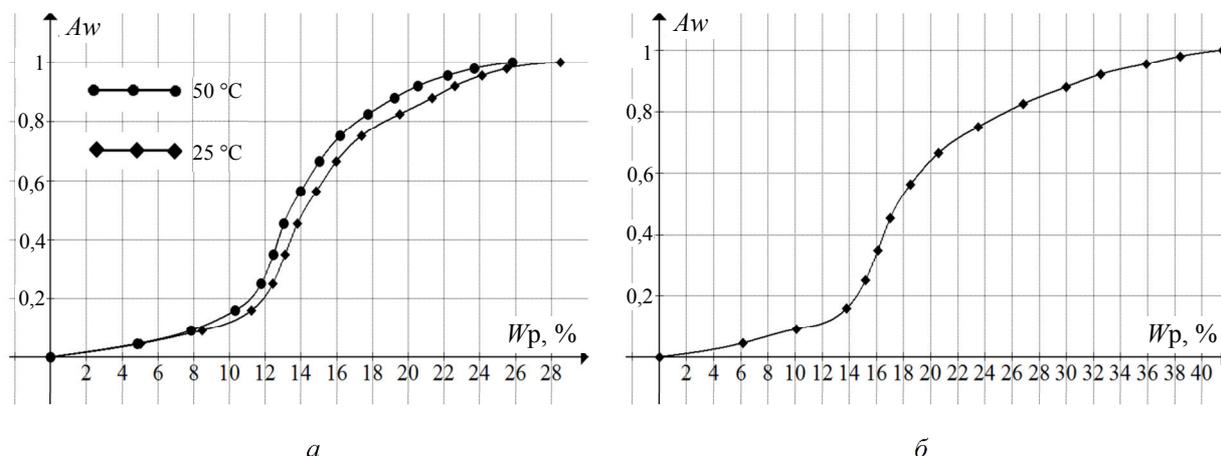


Рис. 1. Изотерма сорбции влаги: фаршем из судака при температурах 25 и 50 °C (а); порошком из капусты при температуре 25 °C (б)

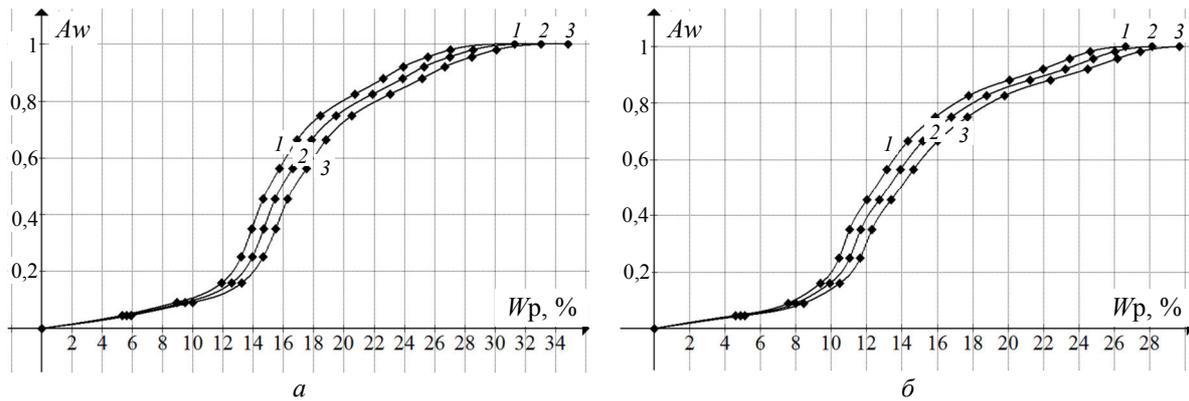


Рис. 2. Изотерма сорбции влаги при температуре 25 °С фаршем судака (а); фаршем сазана (б) с добавлением порошка капусты: 1 – 10 %; 2 – 20 %; 3 – 30 %

Содержание влаги обуславливает консистенцию и структуру продукта, а ее взаимодействие с присутствующими компонентами определяет устойчивость продукта при хранении в замороженном виде. Для определения влажности применялся метод высушивания в вакууме при инфракрасном энергоподводе. Результаты экспериментов (три повторности) с относительной погрешностью не выше $\epsilon_w = 3,22\%$ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Данные экспериментов по определению влажности исследуемых материалов

Объект исследования	Влажность материала, %	Относительное содержание связанной влаги, %	Относительное содержание свободной влаги, %
Капуста белокочанная	89,3	41,5	47,8
Фарш из судака			
без добавок	75,4	28,5	46,9
с добавлением 10 % капусты	72,2	31,3	40,9
с добавлением 20 % капусты	69,8	33,1	36,7
с добавлением 30 % капусты	67,7	34,8	32,9
Фарш из сазана			
без добавок	76,7	25,1	51,6
с добавлением 10 % капусты	72,5	26,6	45,9
с добавлением 20 % капусты	67,2	28,1	39,1
с добавлением 30 % капусты	64,9	29,7	35,2

В обеспечении устойчивости при замораживании важную роль играет соотношение свободной и связанной влаги в фаршевых продуктах, т. к. физико-химически связанная ассоциированная вода имеет прочный контакт с различными компонентами (белками, липидами и углеводами), а свободная влага не связана с сухим скелетом и более подвержена изменению своего агрегатного состояния.

Для расчета и моделирования технологических процессов представлена графо-аналитическая аппроксимация результатов (рис. 3, 4).

$$W_{\text{своб.вл}} = 0,009\gamma^2 - 0,69\gamma + 46,9;$$

$$W_{\text{своб.вл}} = 0,00066\gamma^3 - 0,025\gamma^2 - 0,38\gamma + 51,6,$$

где $W_{\text{своб.вл}}$ – относительное процентное содержание свободной влаги в продукте; γ – относительное процентное содержание порошковой добавки капусты белокочанной в фаршевой смеси в диапазоне от 0 до 30 %.

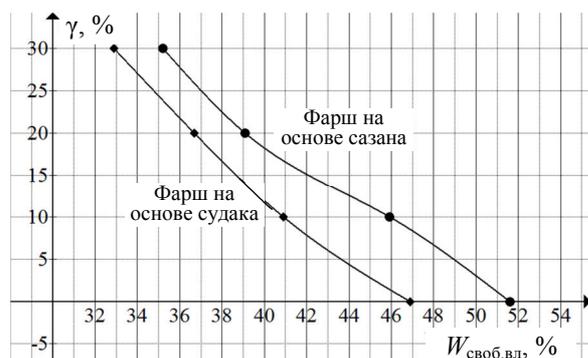


Рис. 3. Изменение относительного содержания свободной влаги в рыбных фаршах в зависимости от относительного содержания порошковой добавки капусты белокочанной

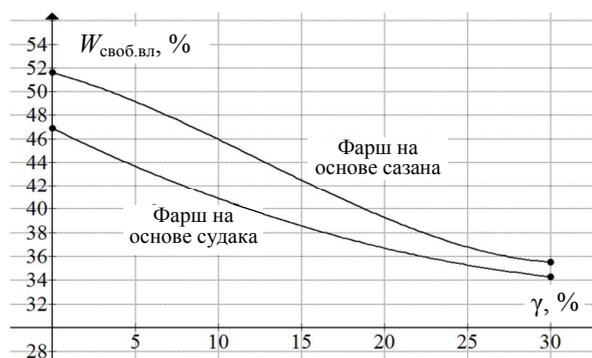


Рис. 4. Зависимость относительного содержания свободной влаги в рыбных фаршах от относительного содержания порошковой добавки капусты белокочанной

Из полученных данных следует, что введение сухой добавки в том или ином процентном соотношении приводит к уменьшению свободной влаги в смеси вследствие ее частичного связывания введенным премиксом.

Верхний предел содержания добавки в смеси ограничен, с одной стороны, максимальной сорбционной способностью добавки (гигроскопическая влажность), а с другой – сенсорной оценкой, т. к. при превышении данного предела показатели полученного полуфабриката могут кардинально отличаться от модельного образца.

Определение рационального содержания порошковой добавки в фаршевых продуктах на основе судака и сазана. Для обоснования и внесения рекомендаций по вопросу количества добавления порошка капусты белокочанной в фаршевую смесь была проведена органолептическая оценка качества готовых полуфабрикатов в сравнении с контрольным образцом, соответствующим ГОСТ Р 55505-2013.

По органолептическим показателям замороженный фарш должен соответствовать требованиям, указанным в табл. 2.

Таблица 2

Органолептические показатели фарша мороженого из судака и сазана по ГОСТ Р 55505-2013

Показатель	Характеристика фарша мороженого	
	Фарш из судака	Фарш из сазана
Внешний вид штранга	Поверхность чистая, ровная, цилиндрической формы. Допускаются небольшие впадины.	
Внешний вид фарша на срезе	Измельчение однородное тонкое. Допускаются небольшие включения частиц кожи, пленки и пищевой добавки.	
Цвет	Светло-серый, ближе к белому, свойственный данному виду рыбы.	Розовато-кремовый, свойственный данному виду рыбы.
Запах	Слабовыраженный, свойственный данному виду рыбы, без постороннего запаха.	
Консистенция	Плотная, упругая.	
Вкус после варки	Свойственный данному виду рыбы. Без неприятного привкуса. Без включения костей. Наличие сладковатого привкуса. Без привкуса капусты белокочанной.	

С теоретической точки зрения любые изменения показателей качества в пищевой системе определяются требованиями термодинамического, компонентного и сатисфакторного класса [6], доминирующим из которых является термодинамический класс, состояние которого описывается уравнением Гиббса–Гельмгольца, где свободная энергия системы складывается из внутренней энергии и энтропийной составляющей. Для унификации показателей технологии и качества продукции все единицы измерения приведены к безразмерному виду посредством энтропийной оценки показателей, что позволяет их сравнивать и увязывать между собой.

В контексте данного исследования целесообразно рассмотреть органолептические требования к продукту питания, связанные с наличием у готового продукта или полуфабриката определенных свойств (вкусовых, визуальных, обонятельных и др.). Замороженные полуфабрикаты

были протестированы группой экспертов, которыми являлись научные сотрудники Астраханского государственного технического университета (АГТУ) и эксперты в области общественного питания из организаций, входящих в Ассоциацию астраханских рестораторов и кулинаров.

Обобщение и системный анализ экспертных оценок проведен посредством составления сводных таблиц (табл. 3, 4) и профилограмм (рис. 5 а, б), полученных путем трансформации балльных оценок (пятибалльная шкала) в энтропийные, а также посредством относительных показателей приближенности сатисфакторных требований к эталону.

Таблица 3

Сатисфакторные показатели фарша мороженого из судака

Показатель	Результаты экспертной оценки мороженого фарша с растительной добавкой в зависимости от ее процентного содержания в смеси								
	10 %			20 %			30 %		
	Б _{ср} *	E**	I***, %	Б _{ср}	E	I, %	Б _{ср}	E	I, %
Внешний вид штранга	3,79	4,29	93,73	4,71	4,52	98,68	4,07	4,37	95,37
Внешний вид фарша на срезе	3,79	4,29	93,73	4,64	4,50	98,33	4,00	4,35	94,97
Цвет	3,43	4,19	91,48	4,57	4,49	97,99	4,07	4,37	95,37
Запах	3,43	4,19	91,48	4,21	4,40	96,15	4,00	4,35	94,97
Консистенция	2,86	4,00	87,31	4,50	4,47	97,63	4,21	4,40	96,15
Вкус после варки	3,71	4,27	93,29	4,50	4,47	97,63	4,07	4,37	95,37

* Б_{ср} – средний балл.
 ** E – энтропийная трансформация.
 *** I – процент приближенности сатисфакторных требований к эталону.

Таблица 4

Сатисфакторные показатели фарша мороженого из сазана

Показатель	Результаты экспертной оценки мороженого фарша с растительной добавкой в зависимости от ее процентного содержания в смеси								
	10 %			20 %			30 %		
	Б _{ср}	E	I, %	Б _{ср}	E	I, %	Б _{ср}	E	I, %
Внешний вид штранга	3,00	4,05	88,43	4,43	4,45	97,27	3,86	4,31	94,15
Внешний вид фарша на срезе	3,21	4,12	90,01	4,43	4,45	97,27	3,79	4,29	93,73
Цвет	3,36	4,17	91,00	4,50	4,47	97,63	3,86	4,31	94,15
Запах	3,57	4,23	92,40	4,36	4,44	96,90	4,07	4,37	95,37
Консистенция	3,43	4,19	91,48	4,79	4,53	99,02	4,21	4,40	96,15
Вкус после варки	3,43	4,19	91,48	4,64	4,50	98,33	3,93	4,33	94,56

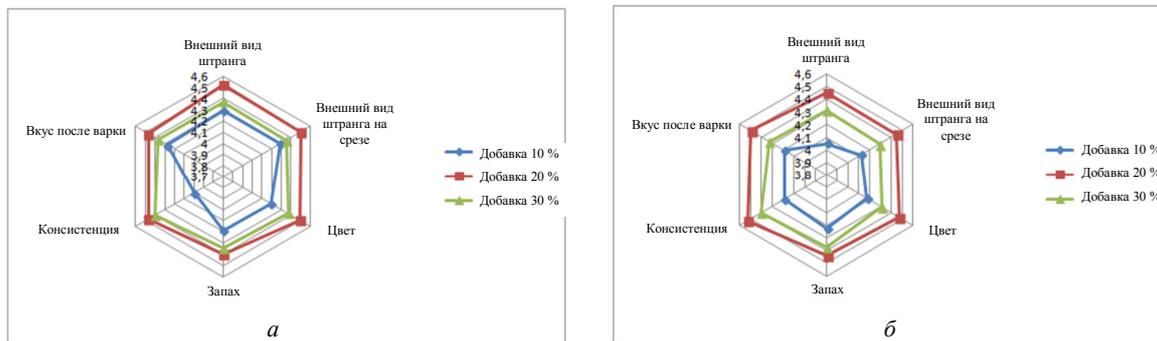


Рис. 5. Профилограмма энтропийно трансформированных экспертных оценок фарша судака (а); фарша сазана (б)

Трансформацию балльных оценок получают, используя методику, подробно описанную в работе [6], по следующей зависимости:

$$E = - \int_e^{100} \frac{1}{100-e} \ln \frac{1}{100-e} dx = - \ln \frac{1}{100-e} = \ln(100-e),$$

где e – модифицированная оценка эксперта, %. В качестве пояснения следует отметить, что максимальная оценка эксперта достигается при $e=0$, т. е. в этом случае энтропийный аналог равен $E = \ln(100 - e) = \ln 100 = 4,605$.

Из приведенных данных и профилограмм следует, что для рационального проведения процессов получения мороженых полуфабрикатов, а также сохранения их органолептических показателей относительное содержание растительного премикса должно находиться в интервале 15–20 % от массы сухих веществ нативного фарша.

В случае, когда добавка не используется, целесообразно применять предварительную подсушку фарша. При введении добавки необходимость в предварительной подсушке фарша либо отпадает, либо снижается время и энергоемкость процесса.

Определение структурно-механических свойств объектов криоконсервирования. Структурно-механические свойства рыбных фаршей характеризуют их сопротивляемость воздействию внешней энергии, обусловленную их строением и структурой, и учитываются при выборе условий консервирования холодом и последующего хранения.

Определение количества вымерзшей влаги в рыбных фаршах при замораживании. Количество вымерзшей воды ω определяется как отношение массы льда в продукте к суммарной массе воды и льда. Величину ω выражают в долях единицы или в процентах.

Фаршевый полуфабрикат подвергался вымораживанию при температурах хладоносителя в интервале от 0 до -20 °С. Для каждой температуры после часа выдержки образца проводился замер объема исследуемого продукта V_n для определения его изменения ΔV в процессе замораживания. В интервале температур от 0 до -2 °С варьирование проводилось с шагом $-0,5$ °С, а в интервале температур от -2 до -5 °С с шагом -1 °С до температуры от -20 °С с шагом -2 °С. Массу образующегося льда m_l рассчитывали, решая систему уравнений (5):

$$\begin{cases} m_{вл} = m_l + m_p \\ \Delta V = \frac{m_l}{\rho_l} + \frac{m_p}{\rho_p} - V_n \end{cases} \rightarrow m_l = \frac{\rho_l ((\Delta V + V_n)\rho_p - m_{вл})}{\rho_p - \rho_l},$$

где m_l – масса образующегося льда, г; $m_{вл}$ – масса влаги в продукте, г; m_p – масса незамерзшего раствора в данный момент, г; ρ_l – плотность льда, г/см³; ρ_p – плотность незамерзшего раствора, г/см³.

В результате были получены данные по изменению количества образующегося льда в исследуемом продукте в рабочей зоне криотермостата в процессе вымораживания фаршевой массы. При различных температурах хладоносителя образовывалось до 60 % льда при -2 °С, до 75 % льда при -5 °С, до 85 % льда при -10 °С, до 90 % льда при дальнейшем понижении температуры. Обработка опытных данных для рыбных фаршевых полуфабрикатов (из судака и сазана) позволила получить обобщенную зависимость количества вымороженной воды ω от температуры t при содержании влаги в продукте $W = 65$ –80 %. Полученные данные показывают, что линейность изменения льдообразования наблюдается со снижением температуры хладагента после определенного значения. Экспериментальные исследования представлены на рис. 6: по мере повышения температуры доля вымерзшей воды уменьшается и достигает нуля при криоскопической температуре в фарше.

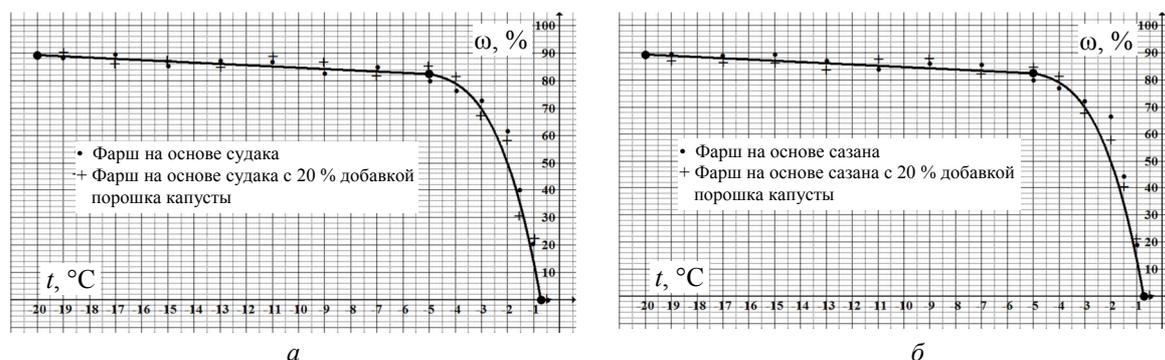


Рис. 6. Зависимость количества вымороженной воды ω от температуры хладагента в фаршах: на основе судака (а); на основе сазана (б)

На рис. 6 а, б наблюдается незначительное отклонение между данными по чистому фаршу и фаршевой смеси как из судака, так и сазана, поэтому в пределах допустимой для инженерных расчетов погрешности целесообразно представить их в виде одной усредненной зависимости, аппроксимированной уравнениями для двух зон замораживания:

$$\omega = -0,023t^4 - 1,15t^3 - 14,48t^2 - 71,988t - 44,9; \tag{1}$$

$$\omega = 0,46t + 80, \tag{2}$$

где ω – количество вымороженной влаги, %; t – температура фарша, °С.

Для зоны в интервале от $-0,7$ °С до -5 °С получено уравнение (1), а для интервала от -5 °С до -20 °С – уравнение (2).

Определение плотности рыбных штрангов при замораживании. Плотность рыбных полуфабрикатов в интервале температур от криоскопической до 20 °С практически не меняется, поэтому для этого диапазона достаточно провести эксперименты по нахождению значений плотности ρ , кг/м³ для фарша из судака и сазана без добавления порошка капусты белокочанной и с добавлением 20 % к сухому остатку пикнометрическим методом, подробно описанным в работе [6]. Для интервала температур от -20 °С до криоскопической зависимость плотности от средней температуры рыбных штрангов будет определяться аддитивно, т. к. в период от -20 °С до криоскопической температуры плотность в продукте меняется в связи с появлением вымороженной влаги ω .

В табл. 5 для каждого исследуемого продукта дано экспериментально полученное среднее значение плотности ρ , кг/м³, в заданном интервале температур.

Таблица 5

Среднее значение плотности для рыбных фаршей из судака и сазана в интервале температуры t_{cp}

Наименование	ρ_{cp} , кг/м ³ , для $t_{криоскоп} \leq t_{cp} \leq 5$, °С
Фарш из судака без добавок	1065
Фарш из судака с добавлением 20 % капусты	1083
Фарш из сазана без добавок	1057
Фарш из сазана с добавлением 20 % капусты	1087

На рис. 7 а, б представлены графические зависимости плотности ρ рыбных полуфабрикатов из судака и сазана от средней температуры t_{cp} .

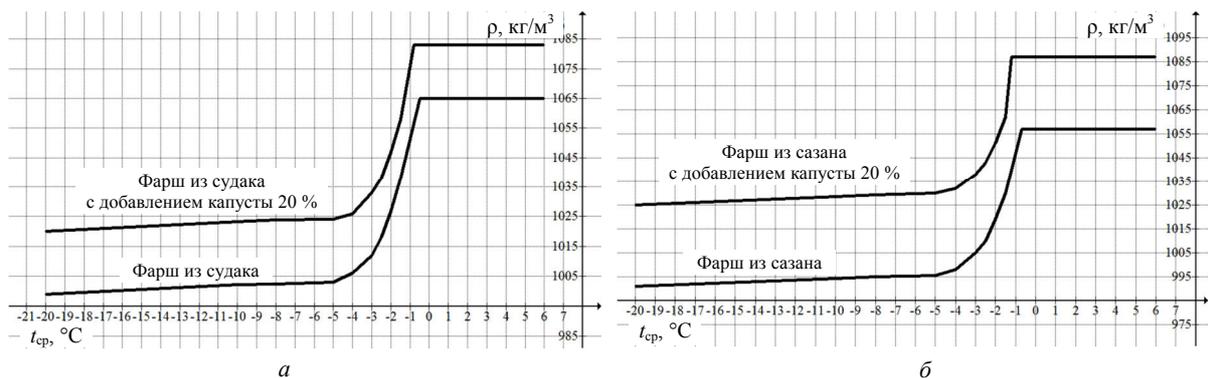


Рис. 7. График изменения плотности фаршевых продуктов в зависимости от температуры штранга: из судака (а); из сазана (б)

Для расчета плотности рыбных фаршевых смесей $\rho_{см}$ при температурах ниже криоскопической целесообразно использовать уравнение, в котором количество вымерзшей влаги ω определяется из зависимостей (1) и (2) от требуемой температуры:

$$\rho_{см} = 1 / \left(\frac{W\omega}{\rho_{л} \cdot 100} + \frac{W(1 - \frac{\omega}{100})}{\rho_{вл}} + \frac{1 - W}{\rho_{сух.ост}} \right),$$

где W – влажность рыбного фарша, кг/кг; ω – количество вымерзшей влаги в фарше, %; $\rho_{л}$, $\rho_{вл}$ и $\rho_{сух.ост}$ – плотность льда, воды и сухого остатка, кг/м³ соответственно.

Определение условного коэффициента эффективной динамической вязкости рыбных фаршей. Понятие «вязкость» относится к одному из важнейших в реологии, т. к. является свойством пищевого материала противодействовать сдвиговому течению, хотя некоторые пищевые среды еще обладают выраженной существенной объемной вязкостью [7, 8]. При пластическом сдвиговом течении это противодействие считается постоянным, поэтому коэффициент динамической вязкости можно определить как меру интенсивности противодействующих сдвиговому плоскопараллельному течению сил внутреннего трения в материале.

Для исследования вязкостных характеристик рыбных фаршей использовался вискозиметр РВ-8 с рифленным ротором (шаг рифления 2 мм), имеющим радиус стакана $R_2 = 0,019$ м и ротора $R_1 = 0,013$ м. Результаты проведенных измерений при 5-кратном повторении и относительной погрешности не выше 5 % приведены в табл. 6.

Таблица 6

Среднее значение коэффициента динамической эффективной вязкости рыбных фаршей из судака и сазана

Наименование	$\mu_{эф}$, Па · с
Фарш из судака без добавок	850
Фарш из судака с добавлением 20 % капусты	1120
Фарш из сазана без добавок	560
Фарш из сазана с добавлением 20 % капусты	840

Полученные результаты не противоречат литературным данным [9–12], что свидетельствует об их адекватности и возможности применения в инженерных расчетах. Следует отметить, что по сравнению с вязкостными характеристиками фарша из судака, величина коэффициента динамической вязкости фарша из сазана меньше, это обусловлено его большей пластичностью из-за более высокого содержания в нем жира, что влияет на снижение силы внутреннего трения.

Определение теплофизических свойств объектов замораживания при обычных температурах и ниже нуля. Теплофизические характеристики зависят от температуры, химического состава и свойств сырья. Вследствие видового многообразия рыб, а также в зависимости от их свойств, места вылова, возраста, рациона питания и т. д., морфометрические и физико-химические характеристики данных объектов исследования могут значительно различаться. Приведенные в литературе данные по физико-химическим характеристикам объектов исследования имеют значительный разброс, в большинстве случаев не обобщены и представлены не в виде математических зависимостей от влияющих факторов, а в табулированном виде [13, 14].

При положительных температурах теплофизические показатели рыбных фаршей меняются незначительно, и их практически считают постоянными [6], зависящими в основном от содержания влаги и жира в продукте. Превращение воды в лед при замораживании рыбных полуфабрикатов приводит к значительному изменению ее теплофизических свойств, т. к. свойства воды и льда существенно различаются. Изменение агрегатного состояния продукции и его скорость определяются не только условиями внешнего теплообмена, но и свойствами замораживаемого сырья.

Определение криоскопических температур объектов исследования. Криоскопическая температура, или температура замерзания, имеет важное значение при проведении теплотехнических расчетов холодильного оборудования и определении теплофизических характеристик гидрофильных пищевых продуктов, к которым относятся изучаемые объекты, обладающие коллоидными свойствами. Криоскопическая температура зависит от концентрации раствора, молекулярной массы, диссоциации растворенных веществ и от свойств растворителя и фиксируется в момент выделения кристаллов льда из раствора без переохлаждения, т. е. в начале замерзания жидкой фазы исследуемого продукта [15].

Изменение температуры замораживания рыбных фаршей определяли с помощью измерительного комплекса, включающего термометр лабораторный электронный «ЛТ-300», криотермостат «LOIP FT-311-25», и персонального компьютера (рис. 8).

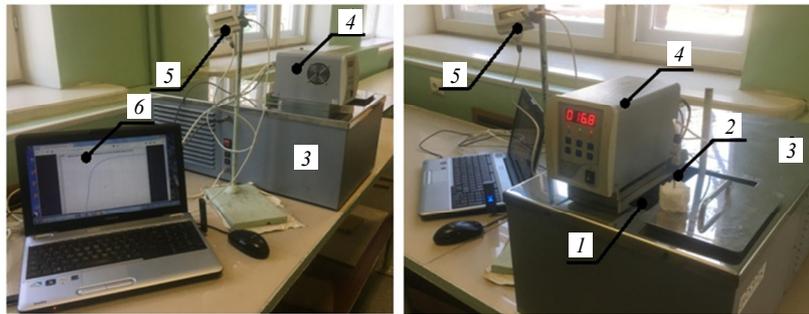


Рис. 8. Экспериментальная установка для определения криоскопических температур при инновационно-исследовательском и внедренческом центре прикладной биотехнологии АГТУ: 1 – рабочая камера; 2 – термопара; 3 – криотермостат; 4 – информационное табло криотермостата; 5 – термометр лабораторный электронный «ЛТ-300»; 6 – термограмма исследований

Данные, поступающие на персональный компьютер, использовали для построения термограммы замораживания объектов исследования. Криоскопическая температура определялась по горизонтальной площадке графика изменения температуры исследуемого образца. Опыт прекращали, когда температура исследуемого образца достигала значения на 5–10 °С ниже криоскопической.

Результаты экспериментального исследования фаршеобразных продуктов представлены в табл. 7.

Таблица 7

Значения содержания влаги и криоскопической температуры в исследуемых продуктах

Наименование	Содержание влаги на 100 г продукта, г	Криоскопическая температура, °С
Фарш из судака без добавок	75,4 ± 0,6	-0,5 ± 0,05
Фарш из сазана без добавок	76,7 ± 0,6	-0,8 ± 0,05
Фарш из судака с добавлением 20 % капусты	69,8 ± 0,5	-0,7 ± 0,05
Фарш из сазана с добавлением 20 % капусты	67,2 ± 0,5	-1,2 ± 0,05

Из полученных данных следует, что увеличение количества связанной влаги, в частности путем 20 % добавки влагосвязывающих сухих ингредиентов, снижает значение криоскопической температуры в продукте в среднем на 0,3 °С.

Определение коэффициента температуропроводности рыбных фаршей при обычных температурах и ниже нуля. Для вычисления коэффициента температуропроводности материала a , м²/с, применяли акалориметрический метод Г. Н. Кондратьева [16]. На рис. 9 представлена эмпирически полученная зависимость коэффициента температуропроводности a рыбных штрангов из судака и сазана от средней температуры $t_{ср}$.

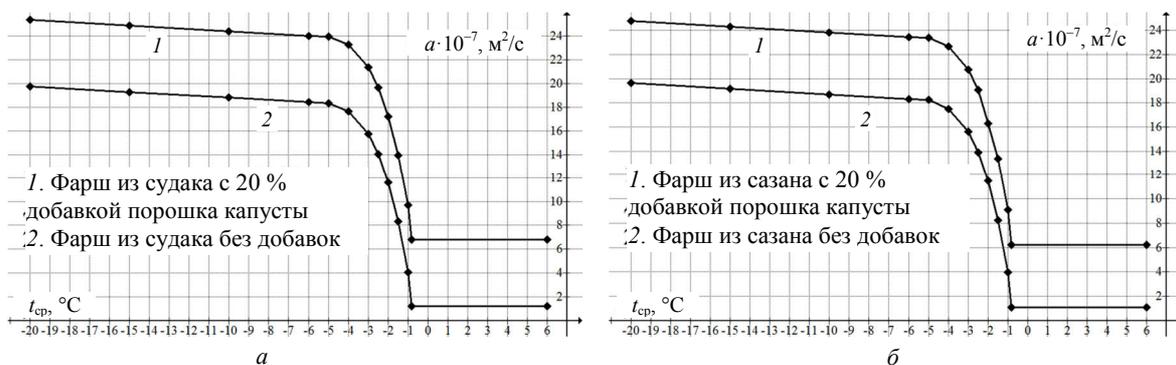


Рис. 9. График изменения температуропроводности фаршевых продуктов в зависимости от температуры штранга: из судака (а); из сазана (б)

Полученные результаты не противоречат литературным данным [17], что свидетельствует об их адекватности и возможности применения в инженерных расчетах. Из графиков на рис. 9 видно, что значения коэффициента температуропроводности для фаршей без внесения добавки колеблются в малом диапазоне, что обуславливает незначительную их зависимость от содержания влаги и жира для многих видов рыб. Теплофизические характеристики пищевых продуктов существенно зависят от температуры: изменяются при ее снижении ниже криоскопической и образовании вымороженной влаги. Для расчета зависимости коэффициента температуропроводности для фаршей без внесения добавки от средней температуры полуфабриката эмпирически полученные кривые разбиты на три зоны (рис. 10), и для каждой из них выведены математические зависимости, которые представлены в табл. 8.

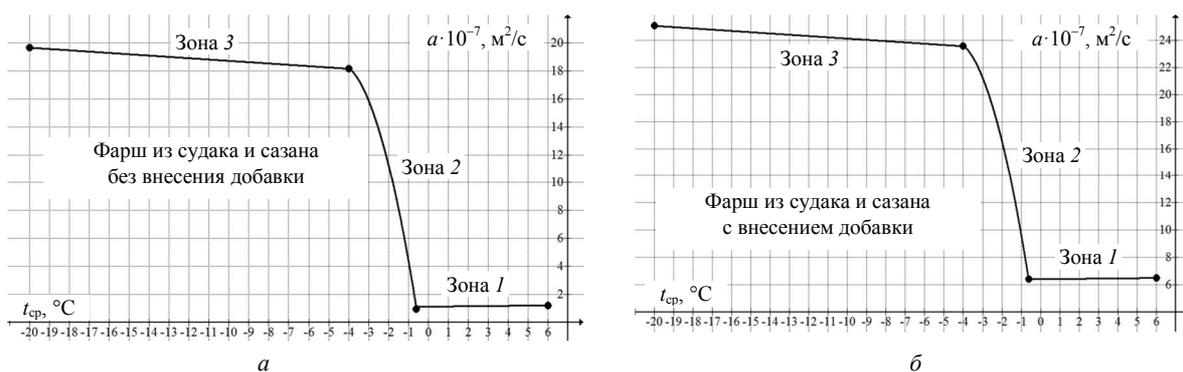


Рис. 10. График изменения температуропроводности фаршевых продуктов в зависимости от температуры штранга: без внесения добавки (а); с внесением добавки (б)

Таблица 8

Аппроксимация эмпирически полученных изменений величины коэффициента температуропроводности фаршей от средней температуры

Зона	Температурный диапазон	Коэффициент температуропроводности	
		без внесения добавки	с внесением добавки
3	$-20 \leq t_{cp} \leq -4$	$a \cdot 10^7 = -0,094t_{cp} + 17,78$	$a \cdot 10^7 = -0,094t_{cp} + 23,2$
2	$-4 \leq t_{cp} \leq 0,6$	$a \cdot 10^7 = -1,13t_{cp}^2 - 10,28t_{cp} - 4,8$	$a \cdot 10^7 = -1,13t_{cp}^2 - 10,28t_{cp} + 0,65$
1	$-0,6 \leq t_{cp} \leq 6$	$a \cdot 10^7 = 0,015t_{cp} + 1,11$	$a \cdot 10^7 = 0,015t_{cp} + 6,4$

На рис. 10 представлена зональная аппроксимированная зависимость коэффициента температуропроводности a рыбных фаршей от средней температуры t_{cp} .

Определение удельной теплоемкости рыбных фаршей при обычных температурах и ниже нуля. Такая важная теплофизическая характеристика, как теплоемкость, также является функцией температуры, но обладает рядом особенностей в области фазовых переходов. В экспериментах применялся метод, в основе которого лежат определение постоянной калориметра K , учитывающей потери вводимой тепловой энергии с высокой точностью, а также создание высокочувствительной схемы измерения небольших (порядка $2K$) изменений температуры образца [18]. Метод позволяет в течение нескольких минут получить результат.

Теплоемкость рыбных фаршей в интервале температур от $0,01$ до 6 °С практически не меняется, поэтому для этого диапазона для нахождения удельной теплоемкости c , Дж/(кг·К), можно использовать метод, описанный в [6, 18].

Для интервала температур от -20 до 0 °С зависимость теплоемкости от температуры фаршевых полуфабрикатов будет определяться аддитивно, т. к. в этот период в продукте появляется вымороженная влага ω , доля которой влияет на значение c в заданной точке температурного измерения, которая, в свою очередь, определяется из зависимостей (1), (2), а в интервале от криоскопической температуры до 0 °С теплоемкость воды в полуфабрикате имеет значение 2050 Дж/(кг·К).

В табл. 9 для каждого исследуемого продукта приведено экспериментально полученное среднее значение удельной теплоемкости c , Дж/(кг·К).

Среднее значение удельной теплоемкости для исследуемых продуктов

Наименование	$c_{\text{ср}}$, Дж/(кг·К), для $0,01 \leq t_{\text{ср}} \leq 6$
Фарш из судака без добавок	3360
Фарш из сазана без добавок	3290
Фарш из судака с добавлением 20 % капусты	3530
Фарш из сазана с добавлением 20 % капусты	3560

Для аддитивного расчета теплоемкости рыбных фаршевых смесей $c_{\text{см}}$ при температурах от нуля до криоскопической необходимо учитывать значение теплоемкости воды при нулевой температуре.

Для расчета теплоемкости рыбных фаршевых смесей $c_{\text{см}}$ при температурах ниже криоскопической целесообразно использовать уравнение

$$c_{\text{см}} = \frac{W}{100} 2050 + \frac{\omega}{100} c_{\text{л}}(t) + \left(1 - \frac{W}{100} - \frac{\omega}{100}\right) c_{\text{с.о.}}$$

где W – влажность рыбного фарша, кг/кг; ω – количество вымерзшей влаги в фарше, %; $c_{\text{л}}(t)$ – теплоемкость льда в зависимости от температуры, Дж/(кг·К); $c_{\text{с.о.}}$ – теплоемкость сухого остатка, Дж/(кг·К). В уравнении количество вымерзшей влаги ω определяется из зависимостей (1), (2) от требуемой температуры, но с учетом изменения величины теплоемкости льда в интервале температур от криоскопической до -20 °С (табл. 10).

Таблица 10

Среднее значение удельной теплоемкости c , Дж/(кг·К), для льда в интервале температуры от криоскопической до -20 °С

Температура, °С	$c_{\text{ср}}$, Дж/(кг·К)
0	2050
-5	2027
-10	2000
-15	1972
-20	1943

На рис. 11 представлены полученные зависимости удельной теплоемкости $c_{\text{см}}$ чистого фарша и фарша с внесенным порошком капусты от средней температуры $t_{\text{ср}}$.

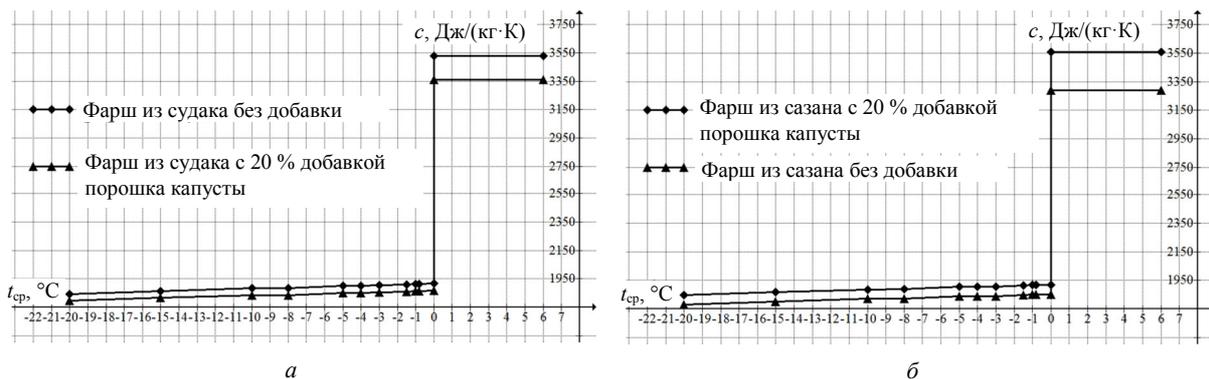


Рис. 11. График изменения теплоемкости фаршевых продуктов в зависимости от средней температуры штранга из судака (а); из сазана (б)

Из графиков видно, что в отличие от коэффициента температуропроводности удельная теплоемкость объектов исследования заметно зависит от видового состава сырья. При этом введение в разные сорта фаршей одной и той же растительной добавки сглаживает данное различие тем существенней, чем больше содержание добавки. Отметим, что коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К), для заданного интервала температур определяется через зависимость $a = \lambda / c \cdot \rho$.

Заключение

Таким образом, установленные математические зависимости теплофизических, структурно-механических и гигроскопических характеристик продуктов и концентратов из растительного сырья могут быть использованы в инженерной практике при проектировании производственных процессов и аппаратов в технологиях переработки сырья животного и растительного происхождения. Полученные результаты исследований необходимы для научного анализа кинетики и динамики тепло-массообменных процессов, в частности охлаждения и замораживания, их моделирования и оптимизации с целью энерго- и ресурсосбережения при переработке пищевых материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бойцова Т. М.* Современные технологии пищевого рыбного фарша и пути повышения их эффективности. Владивосток: ДВГУ, 2002. 155 с.
2. *Косой В. Д., Виноградов Я. И., Мальшев А. Д.* Инженерная реология биотехнологических сред // СПб.: ГИОРД, 2005. 648 с.
3. *Коцыло И. В.* Разработка технологии рыбных формованных полуфабрикатов на основе сырья пониженной товарной ценности: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Калининград, 2011. 24 с.
4. *Баранов Б. А.* Теоретические и прикладные аспекты показателя «активность воды» в технологии продуктов питания: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2000. 240 с.
5. *Максименко Ю. А., Петровичев О. А., Максименко Р. А.* Гигроскопические характеристики и термодинамика взаимодействия пектина и воды // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. 2007. № 2. С. 185–188.
6. *Нугманов А. Х.-Х.* Научно-практические подходы к конструированию многокомпонентных пищевых систем в технологии общественного питания: моногр. Астрахань: ИП Сорокин Роман Васильевич, 2016. 96 с.
7. *Касаткин А. Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: ООО ТИД Альянс, 2005. 753 с.
8. *Афанасьев Ю. О., Михайлов Г. С., Тиунова Н. В.* Измерение вязкости жидкостей на ротационном вискозиметре РВ-8. Кемерово: КузГТУ, 2009. 15 с.
9. *Арет В. А., Николаев Б. Л., Николаев Л. К.* Физико-химические свойства сырья и готовой продукции. СПб.: ГИОРД, 2009. 448 с.
10. *Васюкова А. Т., Иванникова Е. И.* Технология производства фаршей длительного хранения: учеб. пособие. М.: МО РФ, 2002. 172 с.
11. *Доня Д. В., Махачева Е. В.* Реологические показатели комбинированных мясных фаршей // Вестн. Краснояр. гос. аграр. ун-та, 2014. № 4. С. 249–253.
12. *Дряхлов А. О., Кутина О. И.* Влияние растительных компонентов на структурно-механические и реологические характеристики рыбных фаршевых систем // Товаровед продовольственных товаров. 2012. № 3. С. 35–37.
13. *Быкова В. М.* Влияние некоторых добавок к рыбному фаршу на его структурно-механические свойства // Совершенствование технологии обработки добываемого сырья: сб. науч. тр. М.: ВНИРО, 1974. С. 44–48.
14. *Сафронова Т. М., Дацун В. М.* Сырье и материалы рыбной промышленности: моногр. М.: Мир, 2004. 272 с.
15. *Антипов С. Т.* Исследование вымораживания влаги из экстрактов поджелудочной железы, печени и желчи крупного рогатого скота // Хранение и переработка сельхозсырья. 2002. № 6. С. 18–20.
16. *Кондратьев Г. М.* Тепловые измерения. М.; Л.: Гостехиздат, 1957. 369 с.
17. *Шокун Ю. Г.* Разработка основ рациональной сушки рыбных фаршей при производстве пищевой крупки: дис. ... канд. техн. наук. Владивосток, 1983. 185 с.
18. *Пат. 154799* Рос. Федерация, МПК G01N25/20. Калориметр для определения удельной теплоемкости пищевых продуктов / А. Х.-Х. Нугманов, В. А. Краснов, И. В. Краснов; № 2015105320/28; заявл. 17.02.2015; опубл. 10.09.2015, Бюл. № 25.

Статья поступила в редакцию 05.03.2018

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Нугманов Альберт Хамед-Харисович — Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры технологических машин и оборудования; albert909@yandex.ru.

Максименко Юрий Александрович — Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; г-р техн. наук, доцент; зав. кафедрой технологических машин и оборудования; amxs1@yandex.ru.

Алексянн Артем Игоревич — Россия, 414000, Астрахань; ООО «Газпром добыча Астрахань»; оператор; albert909@yandex.ru.

Алексянн Оксана Александровна — Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры технологических машин и оборудования; albert909@yandex.ru.



A. H.-H. Nugmanov, Yu. A. Maximenko, A. I. Aleksanian, O. A. Aleksanian

INVESTIGATION OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF MINCED FISH, DRY VEGETABLE PREMIXES AND THEIR MIXTURES

Abstract. To provide efficient processing of fish assorted raw material (chilled or frozen) there have been studied the properties of formed combined fish and vegetable products. Pike perch and carp minced meat was chosen as samples for research, into which dry powder of white cabbage was added. The results of thermodynamic analysis of hygroscopic properties for determining the ratio of free and bound moisture in minced products have been presented. The obtained data prove that introduction of powdered premix leads to a decrease in free moisture in the mixture due to its partial binding by premix. The upper level of the content of the additive in the mixture is limited by sensory evaluation, because when this limit is exceeded, the indicators of the resulting semi-finished product may radically differ from the model sample. There are given the results of studying thermophysical properties of frozen objects at ordinary temperatures and below zero, structural and mechanical properties, in particular, density, conditional coefficient of effective dynamic viscosity, amount of frozen moisture, cryoscopic temperatures of cryopreservation objects. The established mathematical dependencies of the characteristics of products and concentrates can be used in engineering practice in the design of production processes and apparatuses in processing raw materials of animal and vegetable origin. The obtained research results are necessary for the scientific analysis of kinetics and dynamics of heat and mass exchange processes (cooling and freezing), their modeling and optimization for the purpose of energy and resource saving in processing food materials.

Key words: fish minced meat, thermophysical characteristics, structural and mechanical properties, cold preservation, hygroscopic properties.

REFERENCES

1. Boitsova T. M. *Sovremennye tekhnologii pishchevogo rybnogo farsha i puti povysheniia ikh effektivnosti* [Modern technologies of minced fish food product and ways of raising their efficiency]. Vladivostok, DVGU, 2002. 155 p.
2. Kosoï V. D., Vinogradov Ia. I., Malyshev A. D. *Inzhenernaia reologiya biotekhnologicheskikh sred* [Engineering rheology of biotechnological environments]. Saint-Petersburg, GIOR, 2005. 648 p.
3. Kotsylo I. V. *Razrabotka tekhnologii rybnykh formovannykh polufabrikatov na osnove syr'ia po-nizhennoi tovarnoi tsennosti. Avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk* [Developing technology of forming fish semi-finished products using raw materials of lower value. Diss. Abstr. ... Cand.Tech.Sci.]. Kaliningrad, 2011. 24 p.
4. Baranov B. A. *Teoreticheskie i prikladnye aspekty pokazatelya «aktivnost' vody» v tekhnologii produktov pitaniia. Dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Theoretical and applied aspects of the factor of "water activity" in processing food products. Diss. ... Doc. Tech.Sci.]. Saint-Petersburg, 2000. 240 p.
5. Maksimenko Iu. A., Petrovichev O. A., Maksimenko R. A. Gigroskopicheskie kharakteristiki i termodinamika vzaimodeistviia pektina i vody [Hygroscopic characteristics and thermodynamics of interacting pectin with water]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2007, no. 2, pp. 185-188.
6. Nugmanov A. Kh.-Kh. *Nauchno-prakticheskie podkhody k konstruirovaniiu mnogokomponentnykh pishchevykh sistem v tekhnologii obshchestvennogo pitaniia: monografiia* [Scientific and practical approaches to de-signing multicomponent food systems in technology of catering]. Astrakhan, IP Sorokin Roman Vasil'evich, 2016. 96 p.
7. Kasatkin A. G. *Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii* [General chemical and technological processes and apparatuses]. Moscow, ООО TID Al'ians, 2005. 753 p.

8. Afanas'ev Iu. O., Mikhailov G. S., Tiunova N. V. *Izmerenie вязкости жидкостей на ротационном вискозиметре RV-8* [Measuring fluid viscosity using rotational viscometer PB-8]. Kemerovo, KuzGTU, 2009. 15 p.
9. Aret V. A., Nikolaev B. L., Nikolaev L. K. *Fiziko-khimicheskie svoystva syr'ia i gotovoi produktsii* [Physical and chemical properties of raw materials and products]. Saint-Petersburg, GIOR, 2009. 448 p.
10. Vasiukova A. T., Ivannikova E. I. *Tekhnologiya proizvodstva farshei dlitel'nogo khraneniia: uchebnoe posobie* [Technology of mincing meat for long storage: Teaching aid]. Moscow, MO RF2002. 172 p.
11. Donia D. V., Makhacheva E. V. Reologicheskie pokazateli kombinirovannykh miasnykh farshei [Rheological factors of the combined minced meat]. *Vestnik Krasnoiar'skogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, no. 4, pp. 249-253.
12. Driakhlov A. O., Kutina O. I. Vliianie rastitel'nykh komponentov na strukturno-mekhanicheskie i reologicheskie kharakteristiki rybnnykh farshevykh sistem [Influence of vegetable components on structural and mechanical and rheological characteristics of minced fish systems]. *Tovaroved prodovol'stvennykh tovarov*, 2012, no. 3, pp. 35-37.
13. Bykova V. M. Vliianie nekotorykh dobavok k rybnomu farshu na ego strukturno-mekhanicheskie svoystva [Influence of some admixtures in minced fish on its structural and mechanical properties]. *Sovershenstvovanie tekhnologii obrabotki dobyvaemogo syr'ia: sbornik nauchnykh trudov*. Moscow, VNIRO, 1974. Pp. 44-48.
14. Safronova T. M., Datsun V. M. *Syr'e i materialy rybnoi promyshlennosti: monografiia* [Raw materials in fish industry: monograph]. Moscow, Mir Publ., 2004. 272 p.
15. Antipov S. T. Issledovanie vymorazhivaniia vlagi iz ekstraktov podzheludochnoi zhelezy, pecheni i zhelchi krupnogo rogatogo skota [Investigation of freezing moisture from extracts of pancreas, liver and bile of livestock]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyria*, 2002, no. 6, pp. 18-20.
16. Kondrat'ev G. M. *Teplovyie izmereniia* [Measuring heat]. Moscow, Leningrad, Gostekhizdat, 1957. 369 p.
17. Shokun Iu. G. *Razrabotka osnov ratsional'noi sushki rybnnykh farshei pri proizvodstve pishchevoi krupki*. Dis. ... kand. tekhn. nauk [Developing backgrounds of rational drying of minced fish in producing food groats]. Dis. ... Cand.Tech.Sci.]. Vladivostok, 1983. 185 p.
18. Nugmanov A. Kh.-Kh., Krasnov V. A., Krasnov I. V. *Kalorimetr dlia opredeleniia udel'noi teploemkosti pishchevykh produktov* [Calorimeter for determining specific heat of food products]. Patent RF 154799 RF; 10.09.2015.

The article submitted to the editors 05.03.2018

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nugmanov Albert Hamed-Harisovich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Technological Machines and Machinery; albert909@yandex.ru.

Maximenko Yuriy Aleksandrovich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Technological Machines and Machinery; amxsl@yandex.ru.

Aleksanian Artem Igorevich – Russia, 414000, Astrakhan; "Gazprom Dobycha Astrakhan", LLC; Operator; albert909@yandex.ru.

Aleksanian Oxana Aleksandrovna – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Technological Machines and Machinery; albert909@yandex.ru.

