

УДК 664.951

Технология пищевой добавки из рыбной кости: результаты исследования

Ю.А. Фатыхов, А.Э. Суслов, А.В. Мажаров

Механико-технологический факультет Калининградского государственного технического университета, кафедра пищевых и холодильных машин

Аннотация. Предложена технология получения функциональной пищевой добавки из рыбной кости. Разработаны экспериментальная установка для вакуумной сушки сырья и методика проведения опытов. Получены данные по кинетике сушки рыбной кости трески и судака в зависимости от различных параметров процесса. В процессе вакуумной сушки влияющими факторами являются температура греющих плит и давление внутри аппарата. Методом планирования эксперимента получена их взаимосвязь с темпом обезвоживания рыбной кости в виде полинома второго порядка.

Abstract. The technology of producing functional food addition from fish bone has been suggested. Experimental unit for vacuum drying of raw material and experiments carrying out method have been developed. Data for kinetics of cod and pike-perch fish bone drying depending on different process parameters have been obtained. During the process of vacuum drying the influence factors are: the temperature of heating stoves and the pressure inside the apparatus. By means of planning experiment interconnection with the dehydration rate of fish bones as the second order polynomial has been obtained.

Ключевые слова: пищевая добавка, рыбная кость, вакуумная сушка, кинетика сушки, треска, судак, темп обезвоживания
Key words: food addition, fish bone, vacuum drying, drying kinetics, cod, pike-perch, dehydration rate

1. Введение

В настоящее время достаточно остро стоит проблема нехватки витаминов и минеральных веществ в рационе питания населения нашей страны.

Рыбообрабатывающая отрасль России имеет существенный научный потенциал для создания технологий производства функциональных добавок из гидробионтов, которые содержат необходимые организму макро- и микроэлементы и хорошо усваиваются. Исследования минерального состава костной ткани гидробионтов показали, что они обладают богатым спектром макро- и микроэлементов, таких как Ca, P, K, Na, Mn, Fe, Cu, Sn, Al (Фатыхов и др., 2009; Безусов и др., 1991; Палагина и др., 2005). Перспективы ее промышленного использования в качестве ценного источника белковых и минеральных веществ несомненны и подтверждены рядом исследований.

В традиционной рыбной промышленности рыбная кость является вторичным сырьем, отходом, за исключением производства некоторых консервов. При использовании рыбной кости в качестве пищевой добавки производство становится безотходным.

Так как рыбная кость богаче, чем мышечная ткань, макро- и микроэлементами: кальцием в 6,2 раза, магнием в 8 раз, марганцем в 1,1 раза, то наша задача – использовать тонкоизмельченную рыбную кость в пищевых целях в качестве функциональной добавки.

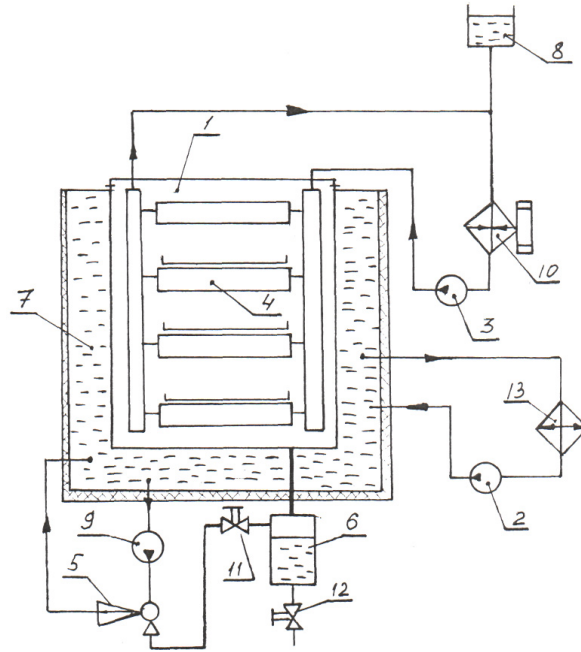
Задачей настоящего исследования является разработка технологии получения функциональной добавки из тонкоизмельченной костной рыбной ткани. На основе изученных литературных источников и предварительных экспериментов была подобрана совокупность технологических операций по получению готового пищевого порошка. За исключением ряда необходимых операций, способ получения пищевой добавки предусматривает предварительное и тонкое измельчение материала и его сушку до конечной влажности, которая должна соответствовать 3-5 %. При этом для достижения приемлемых условий тонкодисперсного измельчения продукта и его последующего хранения одной из задач исследования явились выбор способа и разработка режимных параметров процесса сушки материала. Анализ энергоемкости процесса, производительности установки, условий достижения необходимого качества продукта показал, что оптимальным вариантом может быть применение вакуумной сушки.

2. Описание экспериментальной установки и методики проведения опытов

Принципиальная схема экспериментальной установки для вакуумной сушки представлена на рис. 1.

Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной сушильной установки

- 1 – сушильная вакуумная камера
- 2,3 – насосы водяные циркуляционные
- 4 – греющие плиты (теплообменник)
- 5 – эжектор водяной
- 6 – бак водосборник
- 7 – охлаждающий контур сушильной установки
- 8 – бак расширительный
- 9 – насос водяной
- 10 – водонагреватель
- 11,12 – вакуумный вентиль
- 13 – холодильная машина



Сушильная вакуумная установка включает в себя:

- Сушильную вакуумную камеру (1). Она представляет собой цилиндрическую, вертикально расположенную вакуумную камеру, выполненную из нержавеющей стали. Сверху камера герметично закрывается крышкой благодаря фланцевому соединению с торцевым резиновым уплотнением. Внутри вакуумной камеры размещен теплообменник (4), механически связанный с крышкой, на который устанавливаются поддоны с высушиваемыми костями. Для обеспечения загрузки и выгрузки вакуумной камеры крышка с теплообменником открывается вверх механизмом подъема.

- Теплообменник (4). В установке используется трубчатый теплообменник из четырех параллельно соединенных секций, изготовленный из алюминиевого сплава. Внутри теплообменника циркулирует горячая вода, подогреваемая водонагревателем (10). Водонагреватель снабжен аварийным датчиком температуры, отключающим нагреватель при достижении предельно допустимой температуры греющей воды. Циркуляция воды в трубчатом теплообменнике обеспечивается водяным циркуляционным насосом (3).

- Водяной эжектор (5). Вакуумирование сушильной камеры обеспечивается водяным эжектором с насосом (9), который обеспечивает необходимое давление в камере в процессе сушки.

- Конденсатор. Им служит внутренняя поверхность цилиндрической вакуумной камеры. Снаружи стенки цилиндрической вакуумной камеры охлаждаются водой посредством охлаждающего водяного контура (7). Для охлаждения наружного водяного контура используется циркуляционный насос (2) и холодильная установка (13). Конденсат, поступающий из камеры, накапливается в баке водосборнике (6).

Установка работает следующим образом.

Рыбная кость раскладывается равномерным слоем на сетчатые поддоны. Поддоны устанавливаются в теплообменник (4) между греющими плитами. Теплообменник с поддонами опускается в вакуумную камеру (1). Вакуумная камера герметично закрывается. Для создания необходимого давления разрежения в сушильной вакуумной камере (1) включается водяной эжектор (5), и открывается вакуумный вентиль (11). Для нагрева греющих плит включается водонагреватель (10). Между конденсатором (внутренняя поверхность цилиндрической вакуумной камеры) и греющими плитами создается разность температур. В процессе сушки влага из продукта испаряется, конденсируется на внутренней поверхности цилиндрической вакуумной камеры и стекает в бак водосборник (6). После выхода на режим сушки температура на греющих плитах и давление внутри вакуумной камеры поддерживаются автоматически и могут меняться при необходимости приборами контроля и управления.

Для измерения давления, температуры в сушильной камере и в продукте используются следующие приборы:

- для измерения давления в сушильной камере используется измерительный преобразователь давления Элемер АИР-20, оборудованный интерфейсом RS232 для связи с компьютером;

- для измерения температуры греющих плит внутри сушильной камеры и продукта используются платиновые термометры сопротивления (два термометра сопротивления для измерения температуры внутри продукта и один для измерения температуры греющих плит). Поступающие от датчиков температуры сигналы поступают на микроконтроллер Термодат-13Е1. Термодат оборудован интерфейсом RS485 для связи с компьютером.

В качестве объекта исследования были выбраны отварные рыбные кости без прирезей мышечной ткани трески и судака. Выбор их в качестве объектов исследования был обусловлен следующими соображениями:

- данные виды рыб являются основным сырьем на рыбообрабатывающих предприятиях;
- выбранные объекты значительно отличаются по химическому составу.

Наличие в экспериментальных исследованиях образцов с такими различными свойствами позволило сделать обобщение по особенностям процесса вакуумной сушки в зависимости от свойств рыбной кости как объекта сушки.

Для измерения температуры в центр хребтовой рыбной кости без прирезей мышечной ткани устанавливали термометры сопротивления.

В начале эксперимента измеряли начальную влажность продукта. Рыбную кость раскладывали равномерным одинарным слоем на сетчатые поддоны. Поддоны с рыбной костью устанавливали в вакуумную камеру на греющие плиты. Сушильную камеру герметично закрывали, установку запускали в работу. После выхода в режим (на заданное давление) значения температуры в центре рыбной кости фиксировались через каждые 15 минут. В процессе сушки по истечении определенного времени вскрывали камеру и измеряли промежуточную влажность рыбной кости, в конце процесса сушки замеряли конечную влажность продукта.

3. Результаты исследований и их обсуждение

3.1. Химический состав

В технологическом процессе пищевой добавки предусмотрена варка сырья, которая осуществляется для разрушения структуры тканей и ослабления связи между белковыми и жировыми клетками. Процесс сопровождается отделением прирезей и мышечной ткани от костной, а также мойкой сырья. Так как варка – термический процесс, проводились исследования по определению химического состава и содержания макро- и микроэлементов до и после варки (в испытательном центре АтлантНИРО).

Химический состав кости судака и трески до и после варки приведен в табл. 1. Из анализа данных таблицы видно, что осуществление варки не приводит к какому-либо существенному уменьшению количества макро- и микроэлементов, а следовательно, и к ухудшению качества по сравнению с нативными образцами.

Таблица 1. Химический состав кости судака и трески до и после варки

Сырье	Показатели											
	Массовая доля, %			Содержание, %				Содержание, мг/кг				
	Жир	Белок	Влага	К	Р	Ca	Na	Mn	Fe	Cu	Al	Sn
Судак	10,2	14,7	48,1	0,17	2,50	3,40	0,16	7,3	3,6	2,5	<0,1	<0,01
Судак (отварной)	9,1	13,6	43,4	0,08	4,90	5,20	0,245	10,0	11,7	4,5	<0,1	<0,01
Треска	0,3	13,0	71,0	0,10	1,90	2,40	0,10	5,7	8,0	1,5	<0,1	<0,01
Треска (отварная)	0,3	12,9	56,6	0,08	5,60	4,40	0,21	21,7	4,1	3,8	<0,1	<0,01

3.2. Кинетика сушки рыбной кости

На рис. 2 представлены термограммы и кривые сушки кости трески, построенные по экспериментальным данным для различных значений температуры греющей плиты вакуумной сушильной установки. В вакуумных аппаратах затруднен отбор проб исследуемого продукта для определения текущей влажности, поэтому для построения кривых сушки в основу расчета принимали оба значения влажности – начальное и конечное, что позволило распределить погрешность эксперимента на всю длину кривой сушки, снижая ошибку при дальнейшей ее обработке (*Антипов и др.*, 2007). Кроме того, ряд экспериментов прерывали для контрольного определения текущей влажности исследуемого образца.

Из рассмотрения рис. 2 видно, что исследуемые зависимости имеют вид, характерный для коллоидных капиллярно-пористых тел, к которым относятся большинство пищевых продуктов. При постоянной величине вакуума внутри сушильной камеры термовлагодисперсионность, как известно (*Баранов*

и др., 2006), определяется молекулярной термодиффузией – перемещением влаги из-за разной скорости молекул различно нагретых слоев продукта и капиллярной проводимостью, возникающей из-за изменения капиллярного потенциала.

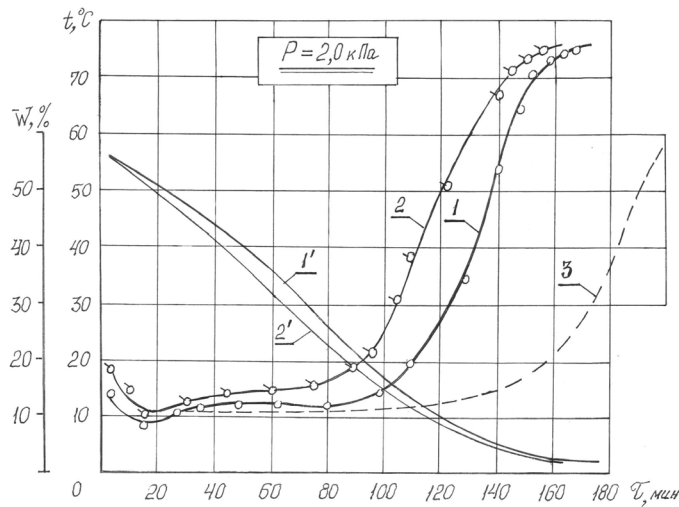


Рис. 2. Термограммы (1, 2, 3) и кривые сушки (1', 2') кости трески при различных значениях температуры греющей плиты

- 1 – $T = 90^{\circ}\text{C}$;
- 2 – $T = 80^{\circ}\text{C}$;
- 3 – $T = 70^{\circ}\text{C}$;
- 1' – $W(\tau)$, $T = 90^{\circ}\text{C}$;
- 2' – $W(\tau)$, $T = 80^{\circ}\text{C}$

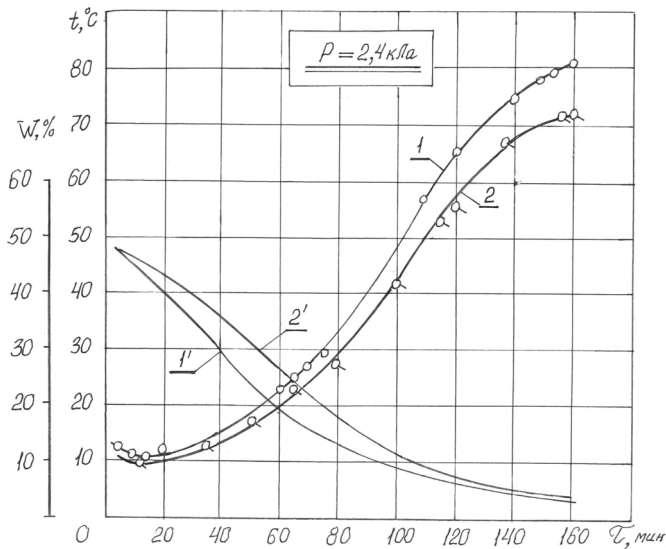


Рис. 3. Термограммы (1, 2) и кривые сушки (1', 2') кости судака при различных значениях температуры греющей плиты

- 1 – $T = 90^{\circ}\text{C}$;
- 2 – $T = 80^{\circ}\text{C}$;
- 1' – $W(\tau)$, $T = 90^{\circ}\text{C}$;
- 2' – $W(\tau)$, $T = 80^{\circ}\text{C}$

Влияние температуры греющей плиты вакуумной сушильной установки видно из сопоставления кривых 1, 2, 3, рис. 2. При $T = 70^{\circ}\text{C}$ процесс сушки рыбной кости характеризуется низкой интенсивностью (кривая 3), что объясняется недостаточным потенциалом термовлагопроводности. Повышение температуры греющей плиты до 90°C также приводит к ухудшению условий сушки исследуемого объекта, так как перегрев его поверхностных слоев приводит к образованию "корки", препятствующей термовлагодиффузии.

Изменение вакуума внутри сушильной установки (1,6 и 2,4 КПа) также не приводит к интенсификации процесса (эти данные в статье не приводятся), поэтому значения влияющих факторов, соответствующих данным кривой 2 (рис. 2) следует считать рациональными (близкими к оптимальным) для процесса вакуумной сушки кости трески.

На рис. 3 представлены аналогичные зависимости, характеризующие процесс сушки кости судака. Исходя из аналогичных рассуждений, наиболее рациональным следует признать процесс сушки исследуемого объекта с параметрами, соответствующими кривой 1.

Прямого сопоставления двух исследуемых объектов вакуумной сушки с точки зрения оптимизации процесса сушки по данным рис. 2 и рис. 3 сделать нельзя, так как исследуемые образцы отличаются химическим составом – прежде всего начальным влагосодержанием и содержанием жира. Высокое содержание жира в костях судака следует признать причиной, вызывающей дополнительные

сложности в механизме термовлагодиффузии при сушке. Так как влагосодержание и жирность функционально связаны между собой (Баранов и др., 2006), то при рассмотрении кинетики обезвоживания учитывают только влагосодержание, однако, на наш взгляд, этот вопрос требует дополнительного исследования.

На рис. 4 представлены кривые кинетики сушки костной ткани трески. Значения текущей влажности материала W^c вычисляли по отношению массы влаги в продукте к массе абсолютно сухого вещества. Естественно, что кривые сушки рыбной кости 1 и 2 имеют характер зависимостей, аналогичный данным рис. 2. При этом для них справедливы те же рассуждения о происходящей физике процесса обезвоживания. Кривые 3 и 4 характеризуют закономерности изменения скорости сушки $dW^c/d\tau = f(W^c)$ и более наглядно отображают характерные периоды обезвоживания и материала. Период разогрева, который часто исключают из анализа процесса (Баранов и др., 2006), мал по продолжительности и соответствует правой части кривых 3, 4, для которых характерен быстрый рост скорости сушки. Период постоянной скорости обезвоживания, для которого $dW^c/d\tau = N = \text{Const}$, показывает, что при одинаковых свойствах объекта обработки (влажности, жирности) величина N определяется режимными параметрами процесса. В данном случае параметры, соответствующие кривой 4, характеризуют более интенсивный режим обезвоживания материала и, как следует из предыдущих рассуждений, близкий к оптимальному. Период падающей скорости обезвоживания (левая часть рис. 4) имеет вид, присущий однородному капиллярно-пористому телу (Баранов и др., 2006).

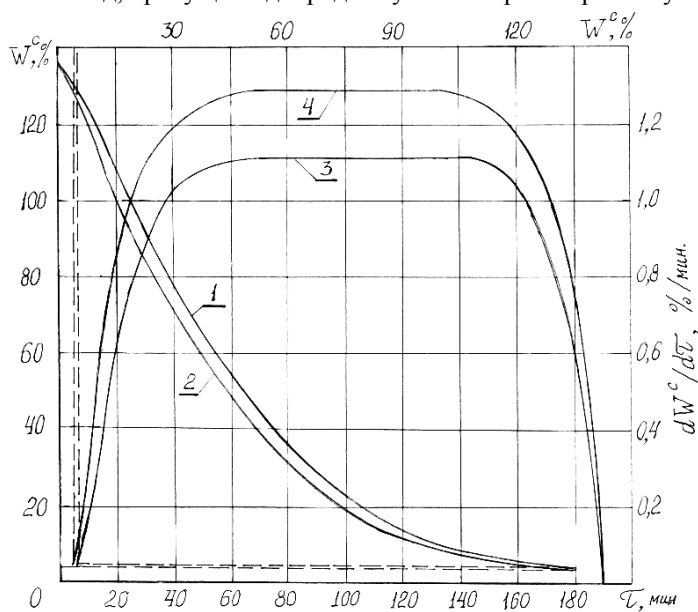


Рис. 4. Кривые сушки (1 при $T = 90^\circ\text{C}$, 2 при $T = 80^\circ\text{C}$) и скорости сушки (3 при $T = 90^\circ\text{C}$, 4 при $T = 80^\circ\text{C}$) кости трески, $p = 2,0\text{кПа}$

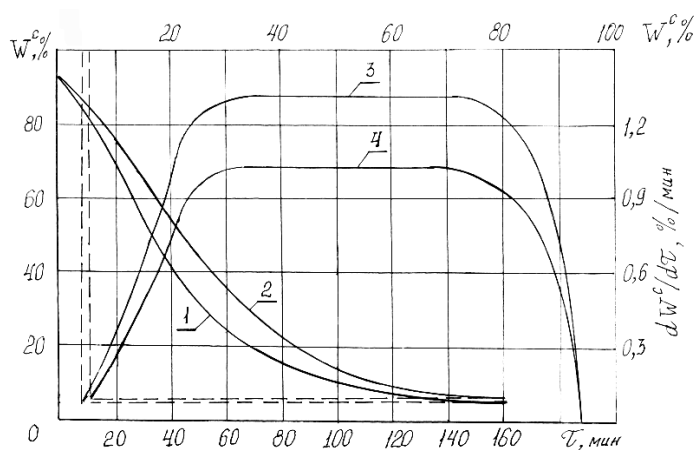


Рис. 5. Кривые сушки (1 при $T = 90^\circ\text{C}$, 2 при $T = 80^\circ\text{C}$) и скорости сушки (3 при $T = 90^\circ\text{C}$, 4 при $T = 80^\circ\text{C}$) кости судака, $p = 2,4\text{кПа}$

Сопоставление кривых кинетики рыбной кости трески с аналогичными зависимостями для целого рыбного сырья показывает их различие, связанное с характером кривых периода падающей скорости обезвоживания, что объясняется различием структур и свойств сопоставляемых объектов. Рекомендуемые в работе (Баранов и др., 2006) формулы для определения критических влажностей в

процесса обезвоживания рыбы, как показали расчеты, не могут быть использованы применительно к закономерностям обезвоживания рыбной кости.

На рис. 5 представлены кривые кинетики сушки костной ткани судака. Сопоставление данных рис. 4 и рис. 5 показывают их качественное совпадение, за исключением небольших отличий в характере кривых, соответствующих периоду падающей скорости обезвоживания. Как отмечалось выше, вероятно, это связано с различием процесса испарения микрокапиллярной осмотически связанной влаги. Количественное различие данных рис. 4 и рис. 5 связано с различием исследуемых образцов по начальному влагосодержанию и жирности.

3.3. О влиянии режимных параметров

При вакуумной сушке влияющими факторами процесса являются температура греющих плит (теплообменников) сушильной установки Т и давление внутри камеры аппарата Р.

В качестве параметра оптимизации выбираем темп обезвоживания продукта, характеризующий скорость удаления влаги за процесс:

$$V = (W_0^c - W_k^c) / \tau, \quad (1)$$

где W_0^c ; W_k^c – начальная и конечная влажность продукта, отнесенная к сухой массе, %; τ – продолжительность сушки, мин.

При этом ставится задача определить, при каких параметрах процесса будет обеспечена минимальная продолжительность и максимальная производительность установки по готовому продукту. Ограничением является влажность конечного продукта и его качество.

При определении вида уравнения регрессии исходим из предпосылки, что варьируя факторы, можно с минимальной ошибкой аппроксимировать поверхность функции отклика полиномом второго порядка (Спирidonов, Васильев, 1975):

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2, \quad (2)$$

где y – обобщенный параметр оптимизации; b_0 , b_i , b_{ij} , b_{ii} – коэффициенты регрессии; x_i , x_j – кодированные значения факторов.

В соответствии с известным методом планирования был реализован полный факторный эксперимент типа 3^2 . Уровни и интервалы варьирования факторами представлены в табл. 2. Матрица планирования и результаты опытов представлены в табл. 3.

Таблица 2. Уровни и интервалы варьирования факторами

Факторы	Кодовые обозначения	Интервалы варьирования	Уровни факторов		
			Основной 0	Верхний +1	Нижний -1
T – температура греющих плит, °С	x_1	10	80	90	70
P – давление внутри аппарата, кПа	x_2	0,4	2,0	2,4	1,6

Таблица 3. Результаты опытов по сушке рыбной кости трески и судака

№ п/п	x_1	x_2	$x_1 x_2$	x_1^2	x_2^2	треска, $W_0^c=135\%$			судак, $W_0^c=94,2\%$		
						$W_k^c, \%$	$\tau, \text{мин}$	y	$W_k^c, \%$	$\tau, \text{мин}$	y
						1.	-1	-1	+1	+1	+1
2.	-1	0	0	+1	0	7,30	165	0,774	6,61	170	0,515
3.	-1	+1	-1	+1	+1	8,34	165	0,768	6,55	170	0,516
4.	0	-1	0	0	+1	8,93	240	0,525	5,71	170	0,520
5.	0	0	0	0	0	3,09	155	0,851	4,38	170	0,528
6.	0	+1	0	0	+1	4,27	155	0,843	4,27	160	0,562
7.	+1	-1	-1	+1	0	4,71	185	0,704	3,95	150	0,602
8.	+1	0	0	+1	0	3,95	175	0,749	3,15	150	0,607
9.	+1	+1	+1	+1	+1	6,61	155	0,828	3,15	140	0,650

Реализация плана экспериментов и обработка полученных данных, проведенная с помощью компьютерной программы DataFit Ver. 9.0.59, позволила получить следующие уравнения регрессии, адекватно описывающие влияние факторов на темп вакуумной сушки.

В кодированных значениях факторов

Для трески $y = 0,8019 + 0,0365x_1 + 0,115x_2 - 0,031x_1x_2 - 1,583 \cdot 10^{-2} x_1^2 - 0,093 x_2^2$. (3)

Для судака $y = 0,5325 + 5,6833 \cdot 10^{-2} x_1 + 1,9833 \cdot 10^{-2} x_2 + 4,750 \cdot 10^{-3} x_1 x_2 + 2,6167 \cdot 10^{-2} x_1^2 + 6,1667 \cdot 10^{-3} x_2^2$. (4)

В натуральных значениях факторов

$$\text{Для трески } V = -7,9098 + 1,1071T + 0,1763P - 7,750 \cdot 10^{-3}TP - 9,8958 \cdot 10^{-2}T^2 - 9,3333 \cdot 10^{-4}P^2. \quad (5)$$

$$\text{Для судака } V = 1,3285 - 0,6071T - 1,0258 \cdot 10^{-2}P + 1,187 \cdot 10^{-3}TP + 0,1635T^2 + 6,1667 \cdot 10^{-5}P^2. \quad (6)$$

Полученное уравнение регрессии позволяет не только предсказать значение функции отклика для заданных условий реализации процесса вакуумной сушки рыбной кости, но и дают информацию о форме поверхности отклика, которые представлены на рис. 6, 7.

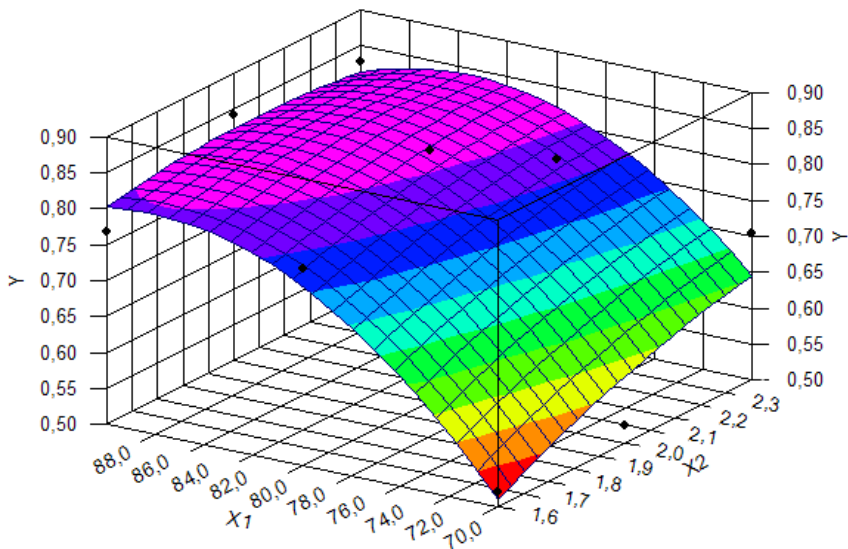


Рис. 6. Поверхности функции отклика $y(x_1; x_2)$ в выбранной области факторного пространства для кости трески

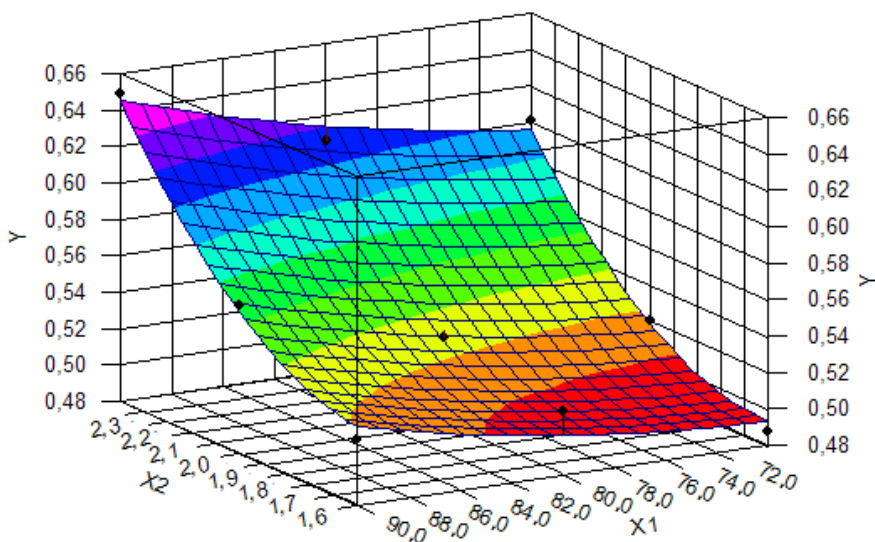


Рис. 7. Поверхности функции отклика $y(x_1; x_2)$ в выбранной области факторного пространства для кости судака

4. Заключение

Предложена и обоснована технология получения тонкоизмельченной рыбной кости, которая может использоваться в качестве обогащенной функциональной пищевой добавки.

Разработана экспериментальная вакуумная сушильная установка для сушки рыбной кости. Обоснована методика проведения экспериментов на ней.

Получены и обработаны экспериментальные данные по кинетике сушки маложирной (трески) и жиросодержащей (судака) рыбной кости. Установлены рациональные параметры процесса сушки исследуемых объектов.

Получено уравнение регрессии, описывающее влияние режимных параметров вакуумной сушки на темп обезвоживания продукта.

Литература

- Антипов С.Т., Воронин А.А., Кумицкий А.С.** Исследование процесса вакуум-сублимационного обезвоживания пищевых продуктов при различных способах энергоподвода. *Вестник МАХ*, вып. 2, с.44-47, 2007.
- Баранов В.В., Бражная И.Э., Гроховский В.А.** Технология рыбы и рыбных продуктов. *Под ред. А.М. Еришова. СПб., ГИОРД, 944 с., 2006.*
- Безусов А.Т., Флауменбаум Б.Л., Добробабина Л.Б.** Рыбная костная ткань как источник ценных бытовых и минеральных веществ. Химические превращения пищевых параметров. *Всесоюз. конф., Калининград, КГТУ, с.136, 1991.*
- Палагина В.М., Волошина О.В., Набокова А.А.** Продукты функционального питания на основе вторичного сырья рыбопереработки. *Рыбная промышленность, № 1, с.28-30, 2005.*
- Спиридонов А.А., Васильев Н.Г.** Планирование эксперимента при исследовании и оптимизации технологических процессов. *Свердловск, УПИ им. Кирова, 140 с., 1975.*
- Фатыхов Ю.А., Мажаров А.В., Соловьев А.В.** Способ получения функциональной пищевой добавки из рыбной кости. *Интенсификация технологических процессов и оборудования пищевых производств: межвуз. сб. научн. тр., Калининград, КГТУ, с.41-45, 2009.*