

**Ефимова Д.В., Буховец В.А., Моргунова Н.Л., Кириллова Т.В.  
ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗИРОВКИ ЯБЛОЧНОГО СОКА  
В РЕЦЕПТУРЕ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Ефимова Дарья Вячеславовна, магистр;

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»; Россия, 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1

E-mail: fraktalsms1@gmail.com

Буховец Валентина Алексеевна, кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»; Россия, 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1

E-mail: fraktalsms1@gmail.com

Моргунова Наталья Львовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»; Россия, 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1

E-mail: fraktalsms1@gmail.com

Кириллова Татьяна Валерьяновна, кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»; Россия, 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1

E-mail: fraktalsms1@gmail.com

*В ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» проводятся исследования по разработке хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности. Повышение пищевой и биологической ценности хлебобулочных изделий остается актуальной задачей. Одним из способов ее решения является использование натуральных пищевых обогатителей. Яблочный сок для жителей России благодаря его невысокой цене и популярному фрукту – яблоко, является одним из самых доступных. Он имеет большое преимущество перед другими, так как содержит богатый набор минералов и витаминов, ферментов, органических кислот.*

*От количества внесения добавки зависят качество, структурно-механические и реологические свойства хлебобулочных изделий. В представленной работе изучено влияние дозировки яблочного сока сорта яблок «Симиренко» на качество пшеничных полуфабрикатов и готовых изделий. Для определения оптимальной дозировки яблочного сока полуфабрикаты и готовые изделия анализировали по следующим показателям: эффективная вязкость теста, влажность, пористость, твердость, цвет готовых хлебобулочных изделий. Для интегрированной оценки возможностей сравниваемых показателей применялся математический аппарат на основе обобщенной функции желательности Харрингтона, позволяющий получить относительно точную оценку эффективности в виде конкретного числа, которую можно использовать в дальнейшем анализе технологических процессов.*

*Было установлено, что оптимальной дозировкой для хлебобулочных изделий с добавлением яблочного сока является 30% яблочного сока, к массе жидкости.*

**Ключевые слова:** хлебобулочные изделия, яблочный сок, обобщенная функция желательности, нелинейная модель.

**Для цитирования:** Ефимова Д.В., Буховец В.А., Моргунова Н.Л., Кириллова Т.В. Оптимизация дозировки яблочного сока в рецептуре хлебобулочных изделий // Новые технологии. 2019. Вып. 1(47). С. 57-68. DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10106

**Efimova D.V., Bukhovets V.A., Morgunova N.L., Kirillova T.V.**  
**OPTIMIZATION OF APPLE JUICE DOSAGE IN THE RECIPE**  
**OF BAKERY PRODUCTS**

Efimova Darya Vyacheslavovna, Master

FSBEI HE «Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov»;

Russia, 410012, Saratov, Teatralnaya square, 1

E-mail: [fraktalsms1@gmail.com](mailto:fraktalsms1@gmail.com)

Bukhovets Valentina Alexeevna, Candidate of Technical Sciences, an associate professor

FSBEI HE «Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov»;

Russia, 410012, Saratov, Teatralnaya square, 1

E-mail: [fraktalsms1@gmail.com](mailto:fraktalsms1@gmail.com)

Morgunova Natalya Lvovna, Candidate of Agricultural Sciences, an associate professor

FSBEI HE «Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov»;

Russia, 410012, Saratov, Teatralnaya square, 1

E-mail: [fraktalsms1@gmail.com](mailto:fraktalsms1@gmail.com)

Kirillova Tatyana Valeryanovna, Candidate of Technical Sciences, an associate professor

FSBEI HE «Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov»;

Russia, 410012, Saratov, Teatralnaya square, 1

E-mail: [fraktalsms1@gmail.com](mailto:fraktalsms1@gmail.com)

*Research on the development of bakery products of high nutritional value are conducted in FSBEI HE «Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov». Improving the nutritional and biological value of bakery products remains an urgent task. One way to solve it is to use natural food fortifiers. Apple juice is one of the most affordable for the residents of Russia due to its low price and popularity of apples. It has a great advantage over others, as it contains a rich set of minerals and vitamins, enzymes, organic acids.*

*The quality, structural, mechanical and rheological properties of bakery products depend on the amount of the additive. In the presented work the effect of the dosage of apple juice of the «Simirenko» apple variety on the quality of wheat semi-finished products and finished products has been studied. To determine the optimal dosage of apple juice, semi-finished products and finished products have been analyzed according to the following indicators: effective dough viscosity, humidity, porosity, hardness, color of finished bakery products. For the integrated assessment of the capabilities of the compared indicators, a mathematical apparatus has been used based on the basis of generalized desirability function of Harrington, which allows to obtain a relatively accurate assessment of the effectiveness in the form of a specific number that can be used in further analysis of technological processes.*

*It's been found that the optimal dosage for baked goods with the addition of apple juice is 30% apple juice to the weight of the liquid.*

**Key words:** bakery products, apple juice, generalized desirability function, nonlinear model.

**For citation:** Efimova D.V., Bukhovets V.A., Morgunova N.L., Kirillova T.V. Optimization of apple juice dosage in the recipe of bakery products // *Novye tehnologii (Majkop)*. 2019. Iss. 1(47). P. 57-68. (In Russ., English abstract). DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10106

Важной задачей, стоящей перед хлебозаводами и пекарнями в рыночных условиях является бесперебойное производство хлебобулочных изделий и расширение ассортимента.

В связи с увеличением спроса на продукцию здорового питания необходимо производить изделия с добавлением продуктов переработки овощей, фруктов, пищевых волокон (отрубей),  $\beta$ -каротина, витаминно-минеральных комплексов [1]. В наибольшей степени для этого подходит региональное сырье, яблоки сорта «Симиренко».

**Цель исследований** – разработать новые рецептуры, технологии производства и научно-техническую документацию на хлебобулочные изделия повышенной пищевой ценности.

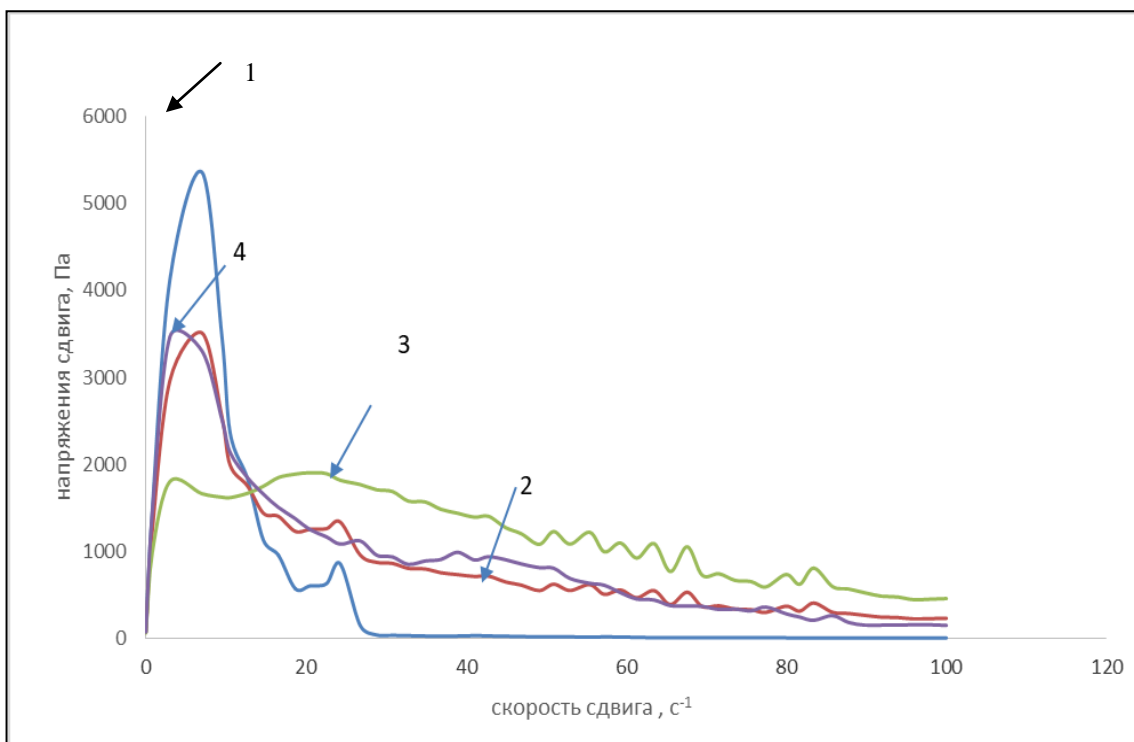
**Материалы и методы.** Исследования проведены в ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» в период 2014-2018 гг. В задачи исследования входило: изучение влияния дозировки яблочного сока на качество, структурно-механические и реологические свойства готовых изделий и полуфабрикатов.

За основу была выбрана рецептура хлеба пшеничного высшего сорта (ГОСТ 27842-88). Готовили опытные пробы с добавлением яблочного сока 0 (образец №1), 30 (образец №2), 50 (образец №3), 100 (образец №4) % от общего количества воды, начальная температура теста 19-20<sup>0</sup>С, созревание теста осуществлялось при его хранении в течение 8-10 часов при температуре 2-4<sup>0</sup>С. Для приготовления пшеничного теста применяли безопасный способ тестоведения [2, 3, 11].

В основу проведения исследований было заложено определение оптимальной дозировки яблочного сока [4, 5, 6]. Полуфабрикаты и выпеченные изделия анализировали по следующим показателям: эффективная вязкость теста, влажность, твердость, пористость, цвет готовых хлебобулочных изделий [9, 10, 11].

Твердость изделий определяли через 48 часов после выпекания. Показатели определялись на реометре Anton Paar Physica 102 (Австрия), на приборе Brookfield СТЗ Texture Analyzer с датчиком нагрузки 5 кг (США), на колориметре NR-110 (Китай).

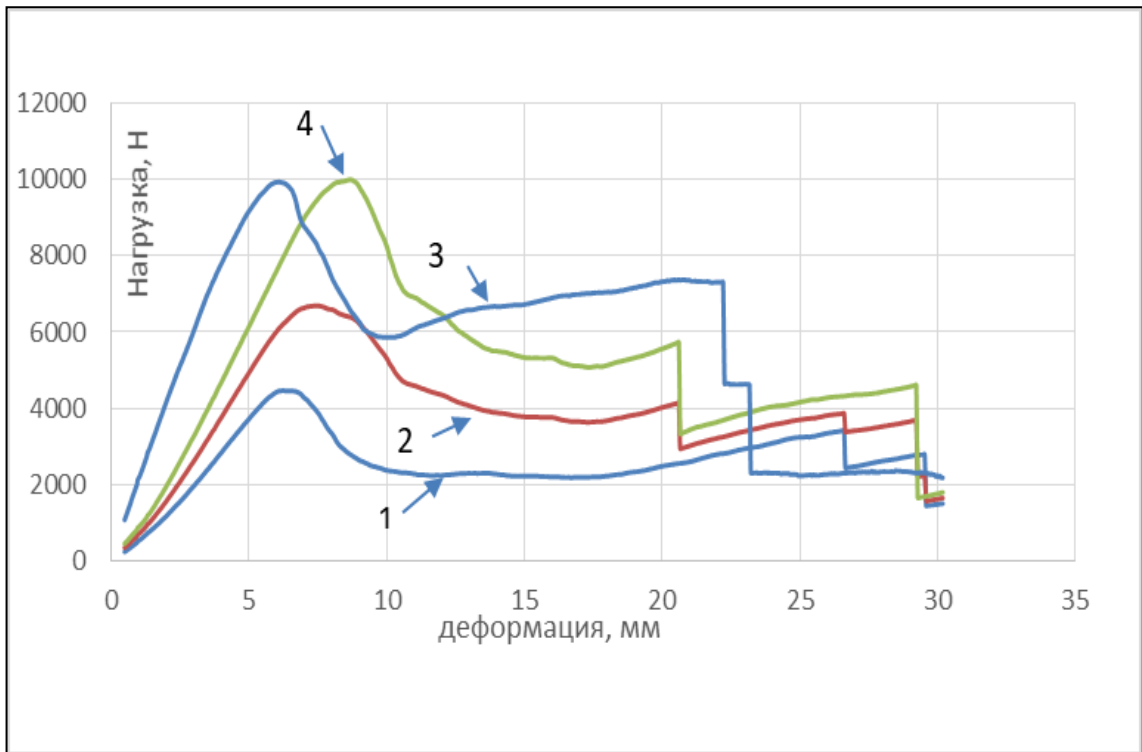
Напряжение сдвига теста, как неньютоновской жидкости зависит от скорости сдвига, рисунок 1.



**Рис. 1.** Зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига: 1 – контрольный образец, 2 – образец с добавлением 30% яблочного сока, 3 – образец с добавлением 50% яблочного сока, 4 – образец с добавлением 100% яблочного сока

Для сравнения вязкости теста у различных образцов вычисляли напряжение сдвига при одной и той же скорости сдвига  $6,9 \text{ с}^{-1}$ , в которой напряжение контрольного образца достигало предела текучести. Эффективная вязкость определялась как отношение напряжения сдвига к скорости сдвига.

Черствление мякиша готового изделия при хранении определялось по показателю твердости. Твердость мякиша вычислялась как отношение нагрузки к пластической деформации. На рисунке 2 представлена диаграмма деформирования мякиша через 48 часов после выпекания.



**Рис. 2.** Изменение структурно-механических свойств мякоти при сроке хранения 48 часов: 1 – контрольный образец, 2 – образец с добавлением 30% яблочного сока, 3 – образец с добавлением 50% сока, 4 – образец с добавлением 100% яблочного сока.

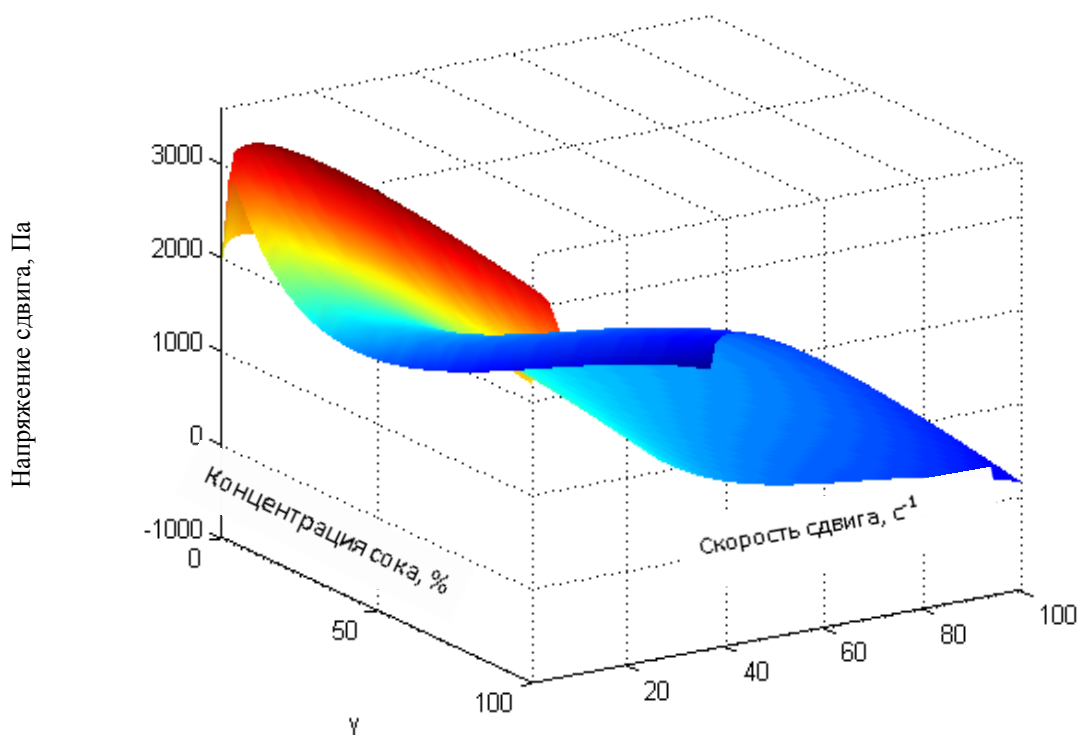
Для количественной оценки влияния дозировки яблочного сока на напряжение сдвига была построена нелинейная многомерная статистическая модель. Входные параметры модели – скорость сдвига и концентрация сока, управляемые параметры модели: напряжение сдвига [7,8].

Оценка напряжения сдвига теста представлена зависимостью рисунок 3:

$$z_1 = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^{2/3} + a_4x^3 + a_5y^{0,4} + a_6e^{-x}, \quad (1)$$

где  $x$ - скорость сдвига,  $y$  количество яблочного сока,  $a_0 = 4388,628$  ;  $a_1 = -166,468$  ;  $a_2 = -13,780$  ;  $a_3 = -900,631$  ;  $a_4 = -0,002$  ;  $a_5 = 274,834$  ;  $a_6 = -4635,82$  .

Полученное уравнение регрессии значимо в целом и по отдельным параметрам. Значимость уравнения определялась с помощью статистического критерия Фишера. Наблюдаемое значение  $F$ -критерия Фишера равно 56,858. Табличное значение  $F$ -критерия Фишера при 5 %-м уровне значимости равно 2,162.



**Рис. 3.** Поверхность отклика для напряжения сдвига

Рассчитанный критерий Фишера выше, чем табличный, следовательно, объясненная дисперсия существенно больше, чем остаточная, следовательно, гипотезу о значимости модели принимаем. На основе t-критерия осуществляется проверка гипотезы о равенстве нулю коэффициентов модели. Все коэффициенты построенной модели значимы при выбранной доверительной вероятности 0,95, так как доверительные интервалы для коэффициентов не содержат нуля. Коэффициент множественной корреляции  $R = 0,839$ .

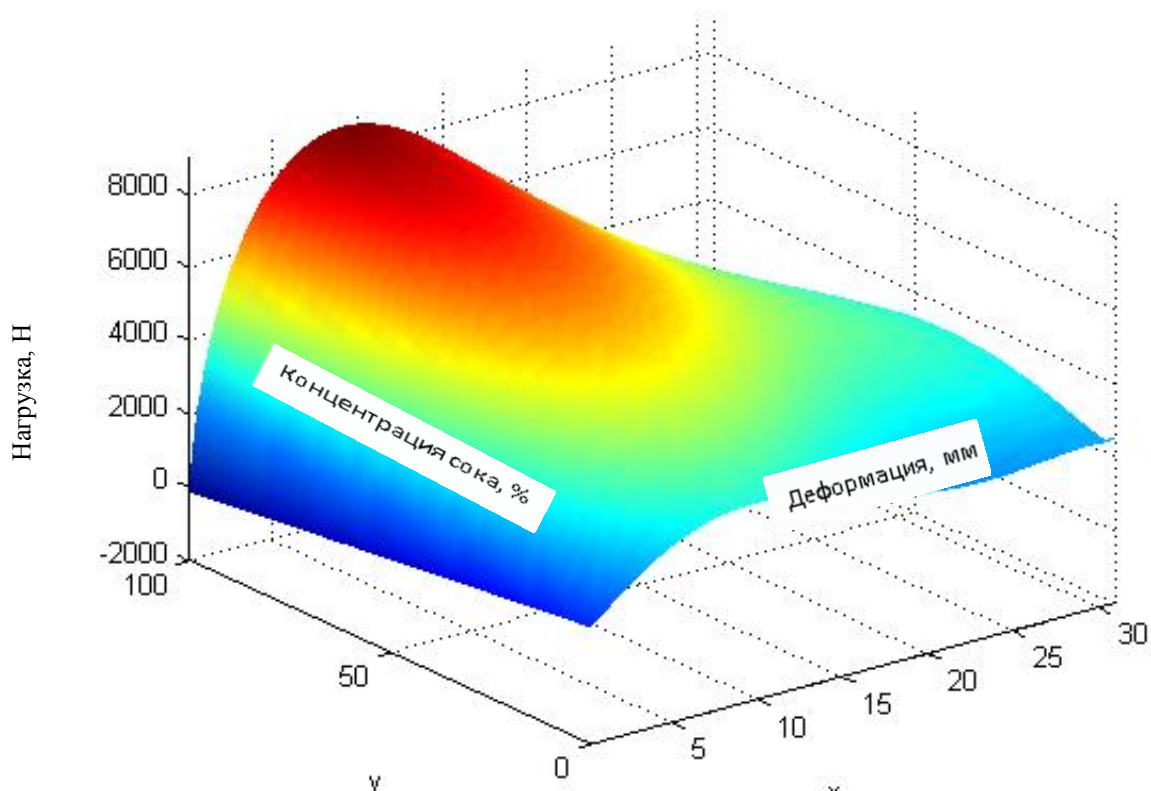
Для количественной оценки влияния дозировки яблочного сока на структурно механические свойства мякоти при сроке хранения 48 часов была построена нелинейная многомерная статистическая модель. Входные параметры модели – деформация и концентрация сока. Управляемые параметры модели: нагрузка, приложенная к испытываемому образцу.

Оценка зависимости нагрузки от деформации и концентрации и сока представлена уравнением:

$$z_2 = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^{4,5} + a_6xy^{0,7} + a_7xy^{1,5} + a_8x^{0,5}y, \quad (2)$$

где  $x$  – деформация,  $y$  – концентрация яблочного сока,  $a_0 = 1084,612$ ;  $a_1 = 402,602$ ;  $a_2 = -38,880$ ;  $a_3 = -3,437$ ;  $a_4 = 0,255$ ;  $a_5 = -0,028$ ;  $a_6 = -15,416$ ;  $a_7 = -0,649$ ;  $a_8 = 61,723$ .

График функции отклика представлена рисунке 4.



**Рис. 4.** Поверхность отклика для нагрузки, приложенной к образцу

Рассчитанное для модели  $F$ -статистика равна 759,349. Оно превосходит табличное значение 1,943. Модель считается значимой при 5 %-м уровне значимости. Установление значимости коэффициента регрессии сводится к проверке гипотезы о равенстве нулю коэффициентов уравнения. Все коэффициенты построенной модели значимы при 5%-м уровне значимости, так как 95 %-ные доверительные интервалы для коэффициентов не содержат нуля. Коэффициент множественной корреляции  $R = 0,87$ .

Для интегрированной оценки качества выпеченных изделий сравниваемых образцов по всем показателям применим обобщенную функцию желательности  $D$ , которая представляет собой среднее геометрическое частных желательностей отдельных откликов. [1]

$$D = \sqrt[n]{d_1 d_2 \dots d_n}, \quad (3)$$

где  $d_i$  – частные желательности  $i$  показателя (отклика),  $n$  – число показателей (откликов).

«Желательность» отклика  $d$  – это безразмерная величина, заменяющая натуральные значения откликов и изменяющаяся от 0 до 1.

Так как исследуемые показатели имеют односторонние ограничения, частные желательности откликов вычисляются по формуле:

$$d_i = \exp(-e^{-y_i}), \quad (4)$$

где  $y_i$  – безразмерный параметр, линейно зависящий от натурального показателя ( $x$ ).

Для перевода натуральных показателей ( $x$ ) качества теста и мякиша хлеба в безразмерные параметры ( $y$ ) используем линейное уравнение:

$$y_i = a_0 + a_1 x_i \quad (5)$$

Преобразуем уравнение (4) двукратным логарифмированием, получим выражение для  $y_i$ :

$$y_i = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{d_i}} \quad (6)$$

С учетом уравнения (5), получим связь между  $x$  и  $d_i$ :

$$a_0 + a_1 x_i = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{d_i}}. \quad (7)$$

По известным значениям  $x$  и  $d$  составим систему уравнений решением, которой являются значения коэффициентов  $a_0$  и  $a_1$ . Линейная зависимость между исследуемым показателем  $x$  и безразмерными параметром  $y$  позволяет найти по формуле (4) показатель желательности.

В таблице 1 приведена шкала оценок для размерных показателей.

Таблица 1 - Критерии оценок размерных показателей и стандартные оценки по шкале желательности

Градации качества	Оценка по шкале желательности	Влажность мякиша, %	Пористость мякиша, %	Твердость мякиша, Н/мм	Эффективная вязкость теста, Па·с	Светлость
1	2	3	4	5	6	7
Отлично	$0,80 \leq d < 1,00$	Менее 24,2	Более 70	Менее 800	Более 770	Более 62
Хорошо	$0,63 \leq d < 0,80$	Более 24,2	Менее 70	Более 800	Менее 770	Менее 62
Удовлетворительно	$0,37 \leq d < 0,63$	Более 30	Менее 68	Более 1000	Менее 500	Менее 60
Плохо	$0,20 \leq d < 0,37$	Более 37	Менее 66	Более 1300	Менее 350	Менее 57
Очень плохо	$0,00 \leq d < 0,20$	Более 42	Менее 65	Более 1600	Менее 200	Менее 55

#### Результаты и обсуждение.

Для показателя «Влажность мякиша» значениям отклика 24,2 % и 37 % соответствуют по шкале желательности безразмерные величины 0,8 и 0,37.

Подставляя эти значения в формулу (7), получим:

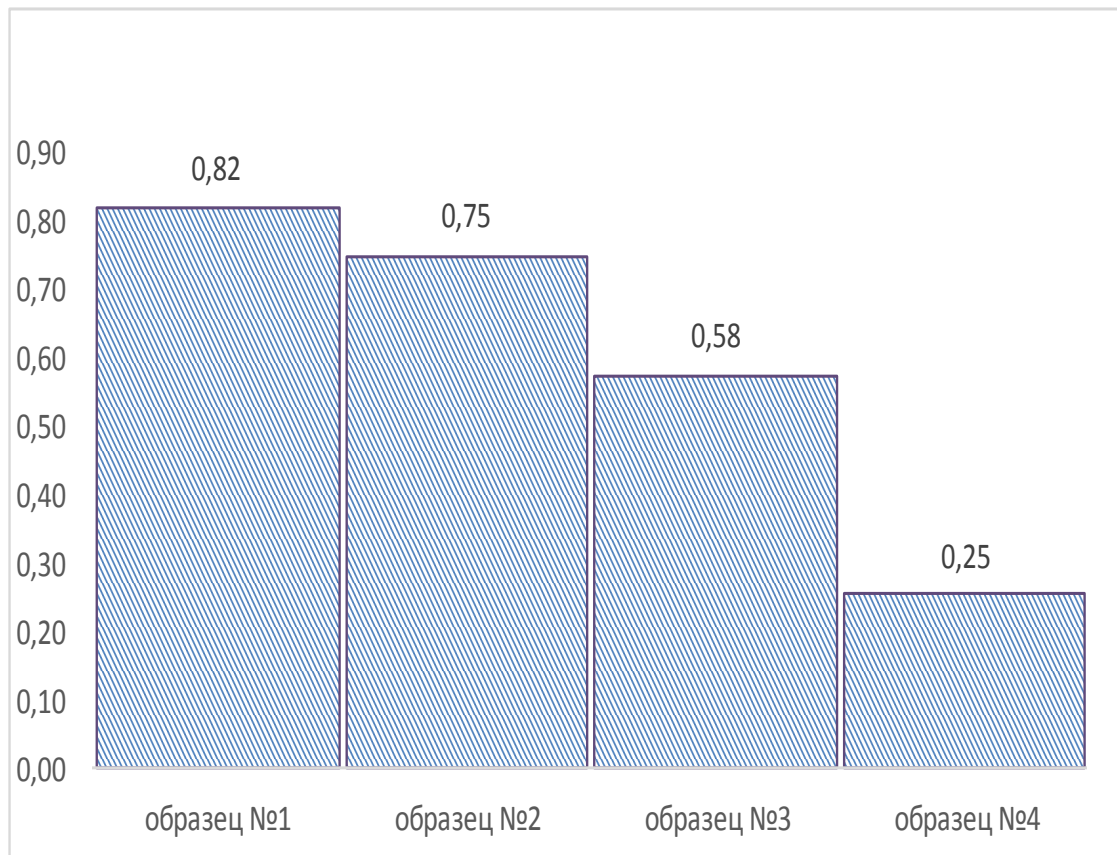
$$\begin{cases} a_0 + 24,2a_1 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,8}}, \\ a_0 + 37a_1 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,37}} \end{cases}$$

Уравнение линейной связи между безразмерным значением стандартной оценки по шкале желательности и натуральным значением показателя «влажность мякиша» будет иметь вид:  $y_1 = 4,324 - 0,116x_1$ .



Аналогично получим четыре других уравнения:  $y_2 = -24,648 + 0,373 x_2$ ;  
 $y_3 = 3,890 - 0,003 x_3$ ;  $y_4 = -1,239 + 0,004 x_4$ ;  $y_5 = -17,027 + 0,298 x_5$ .

Результаты исследования представлены на рисунке 5 и в таблице 2.



**Рис. 5.** Значения функции желательности при различной концентрации сока

Таблица 2 - Натуральные и преобразованные по шкале желательности отклики

Образцы	Натуральные значения откликов					Безразмерные показатели					Частные желательности откликов					Обобщенная функция желательности D	Оценка по шкале желательности
	$x_1$ Влажность мякиша, %	$x_2$ Пористость мякиша, %	$x_3$ Твердость мякиша, Н/мм	$x_4$ Эффективная вязкость теста, Па·с	$x_5$ Светлость	$y_1$ Влажность мякиша, %	$y_2$ Пористость мякиша, %	$y_3$ Твердость мякиша, Н/мм	$y_4$ Эффективная вязкость теста, Па·с	$y_5$ Светлость	$d_1$ Влажность мякиша, %	$d_2$ Пористость мякиша, %	$d_3$ Твердость мякиша, Н/мм	$d_4$ Эффективная вязкость теста, Па·с	$d_5$ Светлость		
№1 (контрольный)	24,2	70,03	717,0	776,8	63,2	1,500	1,511	0,840	1,524	1,858	0,80	0,801	0,840	0,804	0,855	0,820	Отлично
№2	24,6	71,93	889,9	510,9	61,8	1,453	2,220	0,746	0,578	1,440	0,79	0,897	0,746	0,570	0,789	0,750	Хорошо
№3	24,8	73,83	1153,	243,0	60,3	1,430	2,930	0,526	0,375	0,991	0,79	0,948	0,526	0,233	0,690	0,575	Удовлетворительно
№4	35,8	65,78	1632,	445,4	55,6	0,146	-0,076	0,068	0,345	0,412	0,42	0,339	0,068	0,492	0,220	0,254	Плохо

**Заключение.** Наибольшее значение обобщенная функция желательности имеет для образца 1 (контрольный). Этому значению по шкале желательности соответствует оценка

«отлично». Наиболее близким к контролю по обобщенной оценке обладал образец с 30 % содержанием яблочного сока.

Наиболее худшим следует признать образец с 100 % содержанием яблочного сока, который характеризуется низкими частными желательностями.

#### ***Литература:***

1. Буховец В.А., Голыдьбина Д.А. Влияние яблочного сока на объем хлебобулочных изделий // Инновационные технологии производства пищевых продуктов: сборник материалов международной научно-практической конференции. Саратов, 2016. С. 46-47.

2. Способ приготовления пшеничных хлебобулочных изделий: патент 2614989 Рос. Федерация / Буховец В.А., Голыдьбина Д.В.; заявл. 24.02.2016; опубл. 03.04.2017.

3. Буховец В.А., Голыдьбина Д.А. Разработка рецептуры хлебобулочного изделия на основе рационального использования продуктов переработки растительного сырья // Последние достижения на европейской наука: сборник материалов международной научно-практической конференции. София, 2016.

4. Буховец В.А., Моргунова Н.Л., Голыдьбина Д.А. Исследование влияния дозировки яблочного сока на вязкость тестовых полуфабрикатов // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности: сборник материалов международной научно-практической конференции. Воронеж, 2018.

5. Перфилова О.В. Яблочные выжимки как источник биологически активных веществ в технологии продуктов питания // Новые технологии. 2017. Вып. 4. С. 65-71.

6. Дерканосова Н.М., Журавлев А.А., Сорокина И.А. Моделирование и оптимизация технологических процессов пищевых производств. Практикум: учебное пособие. Воронеж: ВГТА, 2011. 196 с.

7. Расчет и проектирование хлебопекарных предприятий: учебное пособие / Тертычная Т.Н. [и др.]. Воронеж: ВГАУ, 2016. 132 с.

8. Экспертиза хлеба и хлебобулочных изделий. Качество и безопасность / Романов А.С. [и др.]. Новосибирск, 2009. 434 с.

9. Ильина О.А. Научно-практические основы применения пищевых волокон в хлебопекарном и кондитерском производствах: автореф. дис. ... на соиск. уч. степ. д-ра техн. наук: 05.18.01. Москва, 2002. 53 с.

10. Технология хлебобулочных изделий (лабораторный практикум): учебное пособие / Е.И. Пономарева [и др.]. Воронеж, 2014. 280 с.

#### ***Literature:***

1. Bukhovets V.A., Golydbina D.A. The influence of apple juice on the volume of bakery products // Innovative technologies of food production: a collection of materials of the international scientific-practical conference. Saratov, 2016. P. 46-47.

2. Method of preparing wheat bakery products: patent 2614989 of the RF/ Bukhovets V.A., Golydbina D.V.; appl. 02.24.2016; publ.03.04.2017.

3. Bukhovets V.A., Golydbina D.A. Development of a bakery product recipe based on the rational use of products of vegetable raw materials processing // The latest achievements of the European science: a collection of materials of the International scientific-practical conference. Sofia, 2016.

4. Bukhovets V.A., Morgunova N.L., Golydbina D.A. Study of the effect of apple juice dosage on the viscosity of dough semi-finished products // Production and processing of agricultural products: quality and safety management: a collection of materials of the International scientific-practical conference. Voronezh, 2018.

5. Perfilova O.V. Apple pomace as a source of biologically active substances in food technology // New technologies. 2017. Vol. 4. P. 65-71.

6. Derkanosova N.M., Zhuravlev A.A., Sorokina I.A. Modeling and optimization of technological processes of food production. Manual: a textbook. Voronezh: VSTA, 2011. 196 p.

7. Calculation and design of baking enterprises: a textbook / Tertychnaya T.N. [et al.]. Voronezh: VSAU, 2016. 132 p.

8. Examination of bread and bakery products. Quality and safety / Romanov A.S. [et al.]. Novosibirsk, 2009. 434 p.

9. Ilyina O.A. Scientific and practical principles of the use of dietary fiber in bakery and confectionery industries: abstr. dis. ... Dr. of Techn. Sciences: 05.18.01. Moscow, 2002. 53 p.

10. Technology of bakery products (a laboratory workshop): a textbook / E.I. Ponomareva [et al.]. Voronezh, 2014. 280 p.